



中德能源与能效合作  
Energiepartnerschaft  
DEUTSCHLAND - CHINA

Supported by:



on the basis of a decision  
by the German Bundestag

# 中德工业领域需求侧管理和能源效率的比较分析与模拟

中德能源转型研究项目



**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**dena**  
German Energy Agency

**ewi** Institute of Energy Economics  
at the University of Cologne

## 版本信息

《中德工业领域需求侧管理和能源效率的比较分析与模拟》报告在德国联邦经济和气候保护部（BMWK）支持的中德能源转型研究项目框架内发布，中德能源转型研究项目是德国联邦经济和气候保护部（BMWK）与中国国家发展改革委和国家能源局在能源领域的官方合作机制——中德能源与能效合作伙伴关系的一部分。德国国际合作机构（GIZ）、德国智库 Agora 能源转型论坛和德国能源署（dena）受 BMWK 委托，与中方相关合作伙伴共同实施该项目。作为一家德国联邦企业，德国国际合作机构为德国政府实现可持续发展国际合作目标提供相应支持。

### 发布方

中德能源与能效合作伙伴  
受德国联邦经济和气候保护部（BMWK）委托  
北京市朝阳区亮马河南路 14 号  
塔园外交办公楼 1-15  
邮编：100600  
c/o  
德国国际合作机构（GIZ）  
Torsten Fritsche  
Köthener Str. 2  
柏林 10963

### 项目负责人

Anders Hove  
德国国际合作机构（GIZ）

### 作者

菲利普·斯奈尔博士（Dr. Philip Schnaars）  
托拜厄斯·施普伦格（Tobias Sprenger）  
帕特丽夏·维尔德（Patricia Wild）  
朱利安·克罗伊茨（Julian Keutz）  
科隆大学能源经济研究所

### 引用名称

科隆大学能源经济研究所（2022）中德工业领域需求侧管理和能源效率的比较分析与模拟。

© 2022 年 8 月，北京

本报告全文受版权保护。截至本研究报告发布前，德国国际合作机构和相关作者对出版物中所涉及的数据和信息进行了仔细研究与核对，但不对其中所涉及内容及评论的正确性和完整性做任何形式的保证。本出版物中涉及到的外部网站发行方将对其网站相关内容负责，德国国际合作机构不对其内容承担任何责任。本文件中的观点陈述不代表委托方的意见。

# 目录

执行摘要 .....	1
1 引言 .....	4
2 能源效率、需求侧管理以及选定行业中的相互依存关系 .....	5
2.1 能源效率 .....	5
2.2 需求侧管理 .....	6
2.3 能源效率和需求侧管理之间的相互依存关系 .....	8
3 中国和德国的能源效率和灵活性措施 .....	10
3.1 能源效率目标和监管框架 .....	10
3.1.1 中国的政策框架 .....	10
3.1.2 德国的政策框架 .....	16
3.2 中德两国能源效率和需求侧管理面临的挑战 .....	20
3.2.1 中国面临的挑战 .....	20
3.2.2 德国面临的挑战 .....	22
4 中德两国能源效率和需求侧管理的模拟 .....	24
4.1 高效的系统优化方法 .....	24
4.2 框架：目前和未来的能源系统 .....	29
4.3 预计潜力及其对能源市场的影响 .....	32
5 政策制定者的选择——鼓励能源效率和需求侧管理 .....	41
5.1 中国的政策选择 .....	41
5.2 德国的政策选择 .....	43
参考文献 .....	45
缩略语表 .....	49
图片列表 .....	52
表格列表 .....	53
附录 .....	54

---

# 执行摘要

未来几十年，中德两国的能源系统将发生根本性变化，维持供应可靠性、实现温室气体减排是能源转型的重中之重。调整电力的使用以顺应这些新情况，可能促进这些远大目标的实现。为实现这些目标，可以通过额外的能源效率措施减少电力消费，或者提高电力需求的灵活性，以适应随时间波动的可再生能源的利用，这些都是切实可行的措施。

本报告为中德两国的政策制定者、企业和专家提供与四个选定行业的能源效率现状及需求侧管理（DSM）相关的专业知识，并分析了当前的监管框架。此外，报告还提供了一些有利于提高中德两国需求侧管理和能源效率的政策选择。

本报告以一种模拟工具为支撑，通过该工具，用户可以探索能源效率和需求侧管理之间的相互依存关系，及其对中德两国当前及未来能源系统的影响。在使用该工具时，用户可以调整电力市场的技术参数以及不同国家工业生产流程的能源使用效率和需求侧管理潜力。此外，用户可使用此工具评估潜在政策措施对市场的影响。该工具分别计算了 2030 年及 2035 年德国和中国的电力市场价格、平均二氧化碳强度以及选定行业能源效率及需求侧管理变化的潜在经济节约量。

## 能源效率和需求侧管理

本报告从技术经济角度分析能源效率，并聚焦于各行业的长期节能和节电，使用工艺用热或者其他能量载体实现的节能不在本报告研究范围内。

需求侧管理包括有针对性的电力需求管理，基于市场信号或者议定的转换信号转移用电负荷。本报告涉及四个工业部门——水泥、造纸、氯和铝行业，及其相关技术。我们在相应的模拟工具中，对现货市场上的负荷转移和切负荷进行了技术经济分析。

从理论的角度来看，能源效率改进和需求侧管理的应用之间可能存在直接的相互依存关系。例如，能源效率改进能够通过减少可进行时间转移的电力负荷，来提高需求侧管理潜力。相互依存关系缺乏实证证据，主要是因为需求侧管理的影响力还较低，即便未来需求侧管理的使用率越来越高，这种相互依存关系也不会未来的能源系统中扮演重要角色。尽管如此，如果额外的证据改变了假设，可以使用模拟工具对这种影响进行明确的建模。

## 政策目标和监管框架

不断提高的能源效率是**中国**能源安全和气候变化工作的核心支柱。自 2006 年起，中央政府就设定了降低经济能源强度的远大目标。为实现这些国家目标，中国出台了各种法规和标准，也为不同行业部门设立了各种经济及财政激励方案。这种以监管和目标为主要驱动力的措施促进了能源效率的巨大改进，尤其是在工业领域。

中国采用行政上的需求侧管理方法（例如责令关停），近二十年来，需求侧管理一直都在中央政府的议事日程之上。但是，中国的需求侧管理市场依然有限，因为其尚未建立起任何基于市场的需求侧管理措施的监管框架。

---

在平衡电力供需时，中国政府过去主要聚焦于供应侧管理。但是，随着中国电力市场改革的持续推行，基于市场的需求侧管理有望成为提供需求灵活性、提高电力系统稳定性的政府议程的焦点。

自 1970 年代起，德国能源政策即已开始实施改进能源效率的工具。过去二十年里，欧盟（EU）一直致力于能源效率提升，近年来力度在不断加强。欧盟委员会设定了远大且有约束力的能源效率目标，这些欧盟法律也已在德国予以落实。德国的能源效率政策依赖于有约束力的目标、标准、信息服务以及保障措施。

欧盟推广在应用工业需求侧管理侧设立远大的目标，德国已将此落实到了其国家法律中。工业需求侧管理存在多种选择，其中既有特别设计的平衡能源市场，也有响应现货价格信号的市场。这些选择的市场准入标准不同，是否适合特定的工业流程也有待商榷，所以这可能限制需求侧管理在德国的应用。

## 挑战

中国政府借助电力市场改革发起了重要的变革，但还并不能消除提高能源效率、激励自愿需求侧管理的障碍。

国家设定的能源效率目标往往没有考虑个别企业的潜力。此外，与国际水平相比，工业电价相对较低，因此对于在全球市场上运作的企业来说，当能源成本不构成其主要的财政负担时，这种较低的电价就可能成为提高能源效率的阻碍。此外，数据可用性、精确性和可及性构成了监管及评估能源效率改进的行政挑战。

不论是电网企业为了获得激励支持而建立的需求侧管理计划，还是电力消费者利用需求侧管理的机会，都无法在当前这种中国电力市场中得到充分的回报，这主要是因为电力定价制度较为刻板。

在德国，高投资成本、长偿还期限以及投资风险是工业能源效率进一步改进所面临的挑战。除了投资赤字以外，缺乏专门技术知识和诀窍，尤其是缺乏优化的技术和创新工艺，可能限制工业能源效率潜力的兑现。

此外，监管障碍阻碍了需求侧管理现有技术潜力的充分发挥，尤其是与个体网络收费和非典型电网使用（《电网收费条例》条款 19.2）相关的网络收费的现行计算方法，容易造成与现货市场价格信号相悖的激励。

## 模拟工具分析

我们开发了一个模拟工具，用以计算能源效率和需求侧管理对中德两国能源系统的总体影响。本报告阐明了优先级、平均电力批发市场价格、电力的平均排放强度、潜在的需求侧管理节约以及选定行业能源效率的能量、环境（CO<sub>2</sub>）和经济性。

尽管因为总装机容量不同，中德两国的绝对值存在巨大差异，但我们假定在默认情景下，中德两国的技术要求具有可比性，因此研究结果适用于两个国家。本报告给出了默认情景。

两个国家需求侧管理的最大潜力都是水泥行业的水泥磨机和生料磨机。这一技术性先决条件——尤其是较长负荷转移持续期的可能性——非常有利于需求侧管理在现货市场的营销。

模拟工具证明通过改进电力能源效率或者在行业层面上使用需求侧管理，可以带来经济和环境节约。政策制定者可以使用这一结果对行业能源效率的支持政策进行优先排序。

## 政策制定者的选择

基于对当前监管框架、最突出的挑战以及模拟工具结果的分析，本报告得出了进一步改进需求侧管理和能源效率的政策选择。针对中德两国的政策选择如下：

### 中国的政策选择

#### 能源效率

- 基于强度的碳排放交易机制与电力部门的现有排污权交易制度类似，可以在工业部门予以落实。该机制为提升能源效率创造了经济激励。
- 工业电价上涨会刺激能源效率领域的进一步投资。
- 取消对能效较低的企业的地方补贴。
- 中央政府和省政府应该在政策制定者中推广支持工业能源效率相关专业技术和知识。
- 必须遵守能源效率与需求侧管理之间可能存在的负相互依存性。为了达成目标，必须考虑通过需求侧管理可能带来的能源效率下降以及能源效率提升可能带来的需求侧管理潜力的下降。

#### 需求侧管理

- 电力市场的监管框架应该考虑短期价格信号或者议定的切换信号，激励需求侧管理的应用：
  - **选择 1：** 落实开放的现货市场，通过分时差价激励企业利用其需求侧管理潜力。
  - **选择 2：** 增大峰谷定价机制中的价格差异。为工业企业提供将生产转移到更有利的市场条件（即较低的市场价格）下的激励。
  - **选择 3：** 在省级电力市场上，基于优先排序的工业机会成本方式可能意味着在电力短缺的情况下，能够实现最低经济成本的停工。

### 德国的政策选择

#### 能源效率

- 引进一项利用在定期能源审计中识别的节能潜力的义务。
- 在每一个新建工业设施中选用能效最高的技术的义务。
- 引进更短的能源效率投资折旧年限，以缩短摊销期限。

#### 需求侧管理

- 修订《电网收费条例》条款 19.2，参考峰值负荷时间窗口和 7000 小时/年规则。使工业电价信号能更精确地反映实际市场及电网条件。
- 降低需求侧管理营销选择的资格预审要求。这些要求限制了工业需求侧管理的推广。
- 通过宣传活动以及额外支持措施，降低信息成本，弥合知识缺口。

---

# 1 引言

未来几十年间，中德两国的能源系统将发生根本性的变化。维持能源供应可靠性和温室气体减排是能源转型的重中之重。电力的高效利用有助于该目标的实现，尤其是电力的能源效率和灵活用电是较为适当的方式。

工业部门是电力的主要用户，中国的工业生产消耗了大约一半的年发电量。脱碳目标带来的工业生产电气化的不断提高以及生产量的与日俱增，将进一步增加工业用电绝对需求。工业能源效率的不断提高将推动二氧化碳减排和生产成本的降低，本报告的分析聚焦于节电。

工业用电需求相对来说越来越灵活，将更多地由波动性可再生能源提供电力。电价将随着可再生能源发电的可用性而变化。需求侧管理，即基于电价调整工业用电需求，可能为供电安全与脱碳的结合做出重大贡献。

本报告为中德两国的政策制定者、企业和专家提供了与各自行业需求侧管理和能源效率现状相关的专业知识，并分析了当前的监管框架。在这些发现之外，还提供了提高需求侧管理和能源效率的政策选择。

报告以一种模拟工具为支撑。通过该工具，用户可以探索能源效率和需求侧管理之间的相互依存关系，及其对中德两国当前及未来能源系统的影响。在使用该工具时，用户可以调整电力市场的技术参数以及工业生产流程的能源使用效率和需求侧管理潜力。工具呈现了市场价格、平均二氧化碳强度以及选定行业能源效率及需求侧管理变化的潜在经济节约量。

报告的结构如下文所示。**第 2 章**介绍了能源效率和需求侧管理的基本概念，还讨论了这些措施之间潜在的相互依存关系。**第 3 章**描述了中德两国当前的能源政策目标、监管框架以及能源效率和需求侧管理的挑战。**第 4 章**介绍了模拟工具，详细描述了工具背后的方法论，并阐述了与当前及未来能源系统相关的必要假设，同时介绍并分析了使用模拟工具计算出的情景结果。**第 5 章**讨论了政策制定者的选择，中德两国的监管变化预计会改进工业能源效率，发挥需求侧管理的潜力。

## 2 能源效率、需求侧管理以及选定行业中的相互依存关系

本章介绍了能源效率和需求侧管理的概念，介绍了两种措施，定义了不同的潜力。章节的最后总结了两种措施之间的潜在相互依存关系。

表 1：重点行业及其能源效率和需求侧管理研究焦点一览表

重点行业	相关过程		2019 年工业电力需求占比 <sup>1</sup>	
	能源效率	需求侧管理	中国（预计）	德国
铝	整个过程链	铝电解	9.9%	3.5%
氯	整个过程链	氯碱电解	2.3%	6.2%
水泥	整个过程链	水泥磨机；生料磨机	5.7%	1.8%
纸	整个过程链	磨木浆和热磨机械浆精炼机；纸张回收和纸浆制备	1.6%	8.2%

来源：AG Energiebilanzen e. V. (2021)、中国国家统计局 (2021) 以及作者的计算

报告中的分析以及附带的工具聚焦于选定的行业。之所以选择这些行业是因为它们在工业电力需求中占比较大，非常适合提供灵活性。可能的能源效率改进并不局限于具体的过程，而是适用于总电力需求。需求侧管理着重于这些行业内最相关的过程，选定行业以及所考虑的过程如表 1 所示。

### 2.1 能源效率

在一般文献中，能源效率和节能往往是作为相同定义使用。**能源效率**指的是因为优化流程带来的相对能源需求的下降，如果措施也提高了产能，绝对能源需求依然可能上升。**节能**的定义是能源需求的绝对下降。

在能源政策的背景下，必须明确区分能源效率和节能。德国设立大多数能源效率目标的主要目的是实现永久节能 (BMW, 2019)。在中国，政策制定者往往聚焦于过程的能源强度 (Sandalow, 2019)。在电网效率及潜在的二氧化碳减排方面，能耗的绝对减少比相对减少更有利。我们遵循此范例，将能源效率称为长期节能潜力。通过技术或行为措施以及结构性变化可以实现这种节能，政策报告聚焦于技术改进 (Pehnt *et al.*, 2011; Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE), 2018)。

为了定义能源效率潜力，必须考虑四种不同类型（图 1）。

<sup>1</sup> 2019 年，中国工业总电力需求为 5,059 太瓦时 (National Bureau of Statistics of China, 2021)，德国为 218 太瓦时 (AG Energiebilanzen e. V., 2021)。选定行业的预计占比是基于其流程电力需求的相关计算。

图 1：潜力的类型——与能源效率及需求侧管理相关



来源：基于 BfEE (2018) 的插图

- **理论潜力**给出了理论能源效率潜力的估计值。例如，卡诺效率给出了热能转换为机械能的潜在效率的上限(Paschotta, 2022)。
- 为了计算技术潜力，要考虑所遵循措施的技术工程限制，例如，工厂的最小规模。
- **经济潜力**是从经济角度出发，考虑寿命期和机会成本。
- **可实现的潜力**描述了“现实的”渗透率，考虑了信息匮乏和组织障碍等非技术及非经济障碍。

附录中将总结针对选定行业的具体措施。

### 总结——能源效率

我们从技术经济角度分析能源效率，以长期节能为焦点。讨论局限于电能节约，使用工艺用热或者其他能量载体实现的节能不在本报告研究范围之内。

## 2.2 需求侧管理

稳定的电力系统以及确保电力供应对消费者至关重要。德国和中国未来的能源系统主要是基于可再生能源 (RES) (EWI, 2021a; IEA, 2021)，尤其是风电和太阳能发电将提供大部分发电量，这种发电取决于起伏波动的天气条件，所以它有利于调整电力系统以确保稳定的供需平衡。

技术或需求侧管理可以提供灵活性，从而确保系统稳定性。此外，可以调整系统的运营和市场设计，以适应更高比重的波动性可再生能源发电。表 2 总结了电力系统的灵活性选择，在这些灵活性选择中，应用领域、技术先决条件及最大潜力可能存在巨大差异。在德国能源署报告“德国电力系统中的灵活性技术和措施” (dena, 2021c) 中，可以找到所提到选择的最新总结。本报告聚焦于需求侧提供的灵活性，更具体地说，是源自于工业过程的灵活性。

表 2：电力系统的灵活性选择

技术灵活性	需求侧灵活性	系统运营灵活性	市场设计灵活性
传统电厂（煤炭和天然气）	工业和商业需求侧管理	二次调度和限电	与日俱增的电力市场颗粒度
生物质和生物气电厂	住宅需求侧管理	先进的可再生能源发电预测	辅助服务
抽水蓄能电厂		现有电网的更高利用率	支持计划：可再生能源和电网费用
电池（住宅、电池动力汽车和大型电池）		配电系统运营商和输电系统运营商之间的合作	
电转 X（例如水电解）		输电系统运营商之间的合作与协调	
	跨境电力交易		

来源：德国能源署（2021b）

提高电力消费者的灵活性潜力可以促进电力需求与波动性可再生能源供电的匹配，例如通过从峰值负荷转移到较低需求时间段。需求侧管理包括有针对性的电力需求管理，增加或减少用电负荷以响应市场信号或者议定的转换信号 (Schenuit and Vogel, 2018)。

尽管任何电力消费者都可以应用需求侧管理，但从系统的角度来看，能源密集型行业尤为适合，因为这些行业作为单一实体消费了大量电力，因此理论上可能具有更高的需求侧管理潜力。需求侧管理潜力取决于多项技术和经济要求以及监管框架，不同工业过程的潜力有所不同。

需求侧管理潜力可以分为四种不同潜力，与能源效率类似（见图 1）：

- **理论潜力**指的是一个过程可能具有的长期灵活性，包括重新规划生产、投资于信息和通信技术以及在必要时获取新的运营资源。
- **技术潜力**对应于可灵活化的现有工艺的可用容量。
- **经济潜力**指的是考虑到所有营销和机会成本，企业在当前市场条件下愿意提供的灵活性。
- **可实现的潜力**是从个体企业的角度出发，可进行营销的可变灵活性。企业可实现的灵活性潜力各有不同，一般取决于员工可用性等特定因素 (Schenuit and Vogel, 2018; Vogel, Schenuit and Jian, 2019)。

为了通过需求侧管理提高能源系统的灵活性，一定要将电力消费者可实现的需求侧管理潜力最大化。

需求侧管理措施包括两种不同方式：**负荷转移**和**切负荷**。采用负荷转移的根本目标是通过推迟（或提前）电力消费，使负荷发生在电网可以更好地提供电力的时间段，以平衡负荷和供电量 (dena, 2021b)，每一行业负荷转移的潜在时间方案各有不同。切负荷指的是削减负荷且之后不会增加等量的负荷。就负荷转移而言，切负荷的最大时长会受到与具体工艺相关的技术限制。切负荷的机会成本高于负荷转移，因为相应的产量损失并未得到补偿 (Gruber, von Roon and Fattler, 2016)。

第 4 章介绍了选定行业中能够进行需求侧管理的具体工艺及其技术参数和要求。

---

## 总结——需求侧管理

需求侧管理包括有针对性的电力需求管理，基于市场信号或者议定的转换信号转移用电负荷。本报告考虑四个行业部门及相关的技术。在相应的模拟工具中，对负荷转移和切负荷进行了技术经济分析。

## 2.3 能源效率和需求侧管理之间的相互依存关系

提高工艺的能源效率可以直接影响需求侧管理的可行性，反之亦然。提高能源效率对需求侧管理的直接影响是减少峰值及平均负荷。如果通过提高用电效率永久地减少了工艺的电力负荷，需求侧管理的技术潜力就会下降，这可能降低执行需求侧管理的收益，这种情况一般发生在安装新的工艺设备或者必要容量下降的时候。与此相反，在不改变装机容量情况下，流程相关的电力需求的下降会降低平均负荷，从而提高需求侧管理的潜力，作为负荷转移的一部分新增。

此外，执行需求侧管理可能导致流程能源效率的临时下降。负荷转移和切负荷可能扭曲电力负荷，使之偏离工业过程的最优水平(Gruber, von Roon and Fattler, 2016)。增加电力需求往往要求在次优负荷水平上操作流程，可能降低能源效率。

在设计政策文件时，了解这些潜在影响具有重要意义。通过需求侧管理和能源效率提升改进波动性可再生能源的整合等政策目标可能部分不兼容。通过减少对传统电厂电力的需求来追求二氧化碳减排，可能妨碍将可再生能源供电整合到电力系统中的努力，因为需求侧管理的潜力可能随着能源效率水平的提高而下降。

但是，这些问题在当前实践中的相关性较低。本研究对德国行业利益相关方进行了访谈，结果表明在工业流程水平上几乎没有任何现实意义，因为所描述影响的意义往往太小无法量化。

根据 Gruber et al. (2016) 的研究，只有在铝电解中发现了相关的相互依存关系。对于需求侧管理和能源效率之间的相互依存关系，每年要求灵活性的绝对小时数对影响的力度是决定性的。这种相互依存的原因是偏离了最优运行模式，因此也偏离了最高效的模式。最优负荷水平为 100%，因此，提供灵活性会造成必要负荷的永久性下降。对铝电解而言，通过偏离最优负荷水平提供需求侧管理，可能导致最高 5% 的能源效率下降。<sup>2</sup>

对所考虑的工业流程来说，预期上文讨论的相互依存性在系统总体水平上并不具有相关性。这种预期是基于现有实证证据以及与行业利益相关方的访谈。研究所附的模拟工具是基于当前的条件和实践，但是工具提供了定义相互依存关系的选择。用户使用此工具可以解决未来可能具有相关性的相互依存关系。尽管我们讨论了工业流程中能源效率与需求侧管理之间潜在的直接、有害的相互依存关系，但并不意味着政策制定者不应该在这些领域寻求改进。我们的讨论是基于处理个别流程的经验，而不是全面的福利分析。第 4 章从总体系统的角度出发，对能源效率及需求侧管理变化对电价和二氧化碳排放量的影响进行了建模。

---

<sup>2</sup> 附录中提供了关于分析的额外信息。

---

### 总结——能源效率和需求侧管理之间的相互依存关系

从理论角度看，能源效率改进和执行需求侧管理之间存在直接的影响。这种影响缺乏实证证据，因为需求侧管理的传播度较低。即便在未来，需求侧管理的实施率会与日俱增，但这种相互依存关系预计并不会在未来的能源系统中发挥重要作用。

---

## 3 中国和德国的能源效率和灵活性措施

本章将介绍能源效率和需求侧管理的重要国家政策和措施。针对中国，将介绍气候目标以及能源转型计划，以及（工业）能源效率战略、政策措施及激励需求侧管理应用的相关政策。针对德国也有同样的讨论，并额外纳入了相关的欧盟法规以及现有的需求侧管理市场细分。

通过案例研究展示了中德两国能源效率和需求侧管理的最佳实践。此后，将讨论改进两个国家工业能源效率并发挥需求侧管理潜力的主要监管、行政及金融挑战。

### 3.1 能源效率目标和监管框架

#### 3.1.1 中国的政策框架

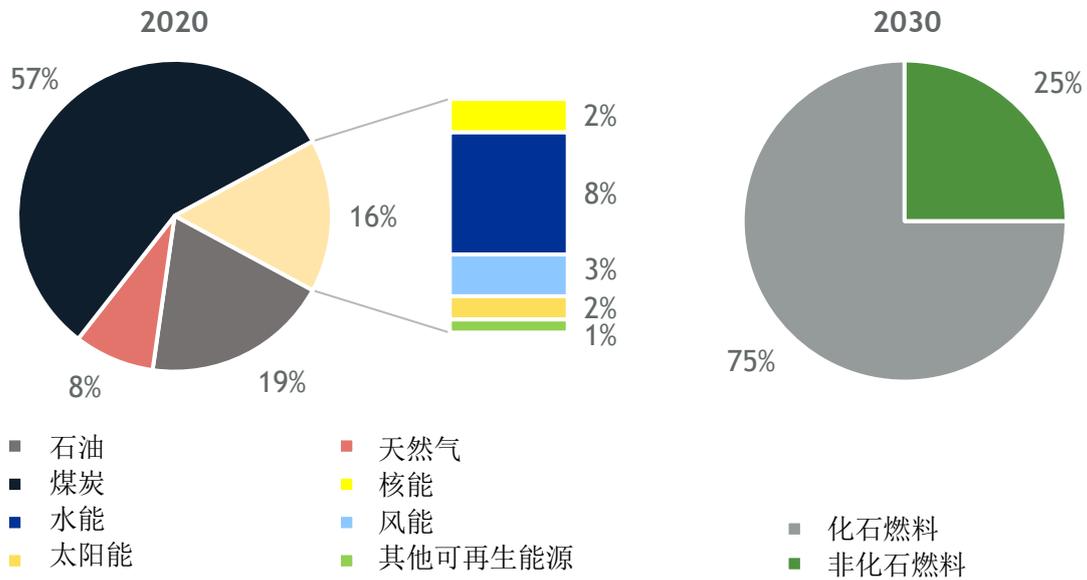
##### 中国的能源转型目标

2020 年，中国国家主席习近平宣布了中国“双碳目标”，提出中国的二氧化碳排放量将在 2030 年之前达峰，在 2060 年之前实现碳中和，这一目标是中国能源系统及经济长期转型愿景的核心。2021 年 12 月，中国重申了气候目标，发布了更新后的国家自主贡献（NDCs）目标（UNFCCC, 2021）以及针对 2030 年的目标：

- 1) 2030 年单位 GDP 二氧化碳排放较 2005 年下降 65%。
- 2) 非化石能源消费占一次能源消费的比重应从 2020 年的 16% 提高到 2030 年 25%。
- 3) 风电和太阳能发电的装机容量应达到 1,200 吉瓦。

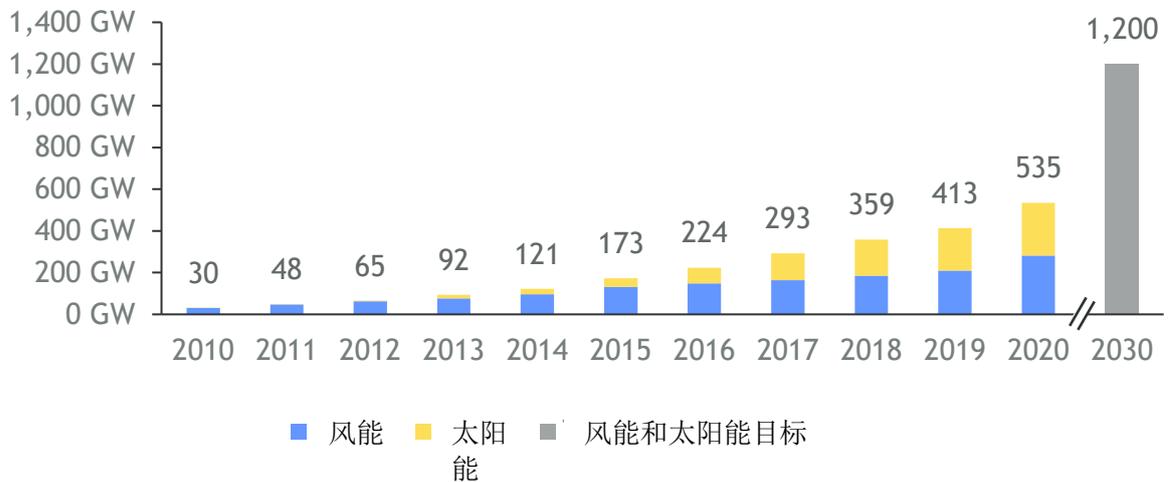
此外，中国“十四五”规划（FYP）提出在 2025 年前限制煤炭消费量的增长，并在“十五五”规划期间（2026-2030）逐步减少煤炭消费量（IEA, 2021）。见图 2 和图 3。

图 2：2020 年中国一次能源消费的能源比重以及 2030 年目标



来源：英国石油企业（2021）（左图）

图 3：中国 2010 年-2020 年风电及太阳能发电装机容量以及 2030 年的目标



来源：中国国家统计局（2020）

### 中国的能源转型政策

能源效率及可再生能源扩张是中国打造低碳经济的“能源改革”的两大核心支柱(IEA, 2021)。过去几十年间，中国在能源效率方面取得了大幅改进，中国 GDP 持续增长，能源强度大幅下降，但能源强度依然高于全球平均水平(Enerdata, 2021)。从 1970 年代末起，能源效率和节能一直是中国能源政策的核心支柱，并在 2000 年代成为国家政策优先事项(Andrews-Speed and Zhang, 2019)。

到目前为止，工业部门的能源强度是中国节能工作的焦点，通过相对较低的成本可以实现巨大的效率增益(Andrews-Speed and Zhang, 2019)。

中国建立了全面的能源效率政策框架(World Bank Group, 2021)，核心战略是设定了国家及省级能源强度目标五年规划，该五年规划与国家战略、计划和倡议相辅相成，为能源效率改进提供了额外的激励(Viota, 2018; IEA, 2021)。表 3 总结了“十一五”规划到“十四五”规划期间的能源及二氧化碳强度目标。表 4 列出了中国工业能源效率国家战略和计划。国家能源效率计划在省级及地方层面被具体落实(Viota, 2018)。

表 3：中国五年规划中的国家能源强度目标

	“十一五”规划 (2006-2010)		“十二五”规划 (2011-2015)		“十三五”规划 (2016-2020)		“十四五”规划 (2021- 2025 年)
	目标	已达成	目标	已达成	目标	已达成	目标
单位 GDP 能源强度下降	20%	19%	16%	18.3%	15%	14%	13.5%
能源消费上限 <sup>3</sup>			低于 40 亿 吨标准 煤当量	43 亿吨标 准煤当量	低于 50 亿 吨标准 煤当量	49.8 亿吨标 准煤当量	
单位 GDP 二氧化碳强度下降 <sup>4</sup>			17%	20%	18%	18.8%	18%

来源：IEA (2021)

<sup>3</sup> “十一五”规划和“十四五”规划中未包含任何能源消费上限。“十二五”规划和“十三五”规划引进了双控政策，设定了能源强度目标和总能源消费量的上限。实现 2016 到 2020 年期间的双控目标是 2021 年各省份供电配给的驱动力。针对当前的“十四五”规划，未设定任何能源消费上限。

<sup>4</sup> 2011 年，在“十二五”规划中首次引进了碳强度目标。

表 4：与工业能源效率相关的战略

战略	发布方	年份	对能源效率的影响
节约能源法	中国全国人民代表大会常务委员会	1998 年，于 2017 年更新	建立节能和能源效率的法律框架
2016–2030 年能源供应及消费改革战略	国家发展和改革委员会（NDRC）和国家能源局（NEA）	2017	长期展望：能源强度达到全球平均水平
国家自主贡献		于 2020 年更新	发电、工业和城市的能源效率和节能
推动关键领域节能和碳减排的严格能源效率限制	国家发展和改革委员会、国家生态环境部（MEE）、国家市场监督管理总局（SAMR）和国家能源局	2021	聚焦于能源消费促成了较高且较为成熟的转变条件
改进能源消费强度和总量双控计划	国家发展和改革委员会	2021	鼓励各地区超越能源强度降低目标。在当前的五年规划期限内，免除各省份的对能源消费的双控评估
高能耗行业关键领域节能和碳减排的实施指南	国家发展和改革委员会	于 2022 年更新	17 个能源密集型行业部门 2025 年的增强能源效率标准和目标

“十一五”规划设定了远大的能源效率目标（参见表 3），作为规划的一部分，引进了各项工具(Andrews-Speed and Zhang, 2019)，例如“前百大”企业、“前千大”企业以及“前万大”企业计划（参见案例研究 1）、能源效率领跑者计划及工厂关停。能源效率领跑者计划识别了高能源效率产品模型，设定了行业的能源效率基准。“领跑者”会得到财政支持，因此企业正努力竞争成为最高能效企业。此外，政府开始关停过时且效率低下的电厂和工业厂房(International Energy Charter, 2018; Nie, Wang and Chen, 2018; Viota, 2018; Andrews-Speed and Zhang, 2019)。

中国政府制定了各项标准和基准，给出了工业能源效率方面的建议，例如 2014 年的全面跨部门指导方针(IEA, 2021)或 2019 年《国家工业节能技术装备推荐目录》(UNFCCC, 2021)。

### 总结——中国的能源效率政策

不断提高的能源效率是中国能源安全和气候变化工作的核心支柱。自 2006 年起，中央政府就设定了降低能源强度的远大目标。为实现这些国家目标，中国出台了各种法规和标准，也为不同行业部门创建了经济及财政激励。这种主要以监管和目标为驱动的方式带来了巨大的改进，尤其是在工业能源效率领域。

### 案例研究 1：能源效率方面的良好实践：前千大企业能源效率计划

前百大、前千大以及前万大企业计划始于 2006 年。计划涵盖了具有巨大能源需求的最大规模企业（在总工业能源消费中占巨大比重）以及公共建筑和大型运输企业。

计划旨在推动企业实现能源效率改进，实现能源效率目标。评估能源效率潜力，设定降低能耗的强制性目标，建立过程监督、报告和验证系统。

省政府和地方政府负责实现指定目标，针对每一企业单位引进个体目标，执行能源审计，施加惩罚。此外，还设定了经济和财政激励，例如提供财政支持的专用基金以及为最低能源效率企业设定更高电价。

尽管计划的成本是未知的，但所涵盖企业的能源绩效水平已大幅改进。这种行政方式激励相关地方政府和企业加强能源效率工作。所有能源密集型行业部门（尤其是水泥行业）都实现了能源效率改进（Zhu, Bai and Zhang, 2017; International Energy Charter, 2018; Andrews-Speed and Zhang, 2019）。

## 中国的需求侧管理政策

中国于 1990 年代引进需求侧管理作为节能战略。此后部署了需求侧管理行政措施，例如强制负荷转移和拉闸限电。2010 年之后，制定了支持基于市场的需求侧管理的计划和措施（参见表 5）。需求侧管理开始获得贷款支持，且为能源服务企业（ESCOs）提供税收减免，为试点项目提供补贴（Zhang, Jiao and Chen, 2017; Andrews-Speed and Zhang, 2019）。案例研究 2 介绍了 2012 年需求侧管理试点城市计划。

表 5：中国推广需求侧管理的国家措施和计划

措施/计划	发布方	年份	对需求侧管理的影响
需求侧管理措施	国家发展和改革委员会	2010	公共事业机构的义务和行政负荷管理
工业领域电力需求侧管理工作指南	工业和信息化部（MIIT）	2011	为需求侧管理示范项目提供支持 建立能源服务机构
国家需求侧管理平台		2014	为决策制定者提供支持和技术服务的平台
工业领域电力需求侧管理专项行动计划（2016-2020）	工业和信息化部	2016	工业企业执行需求侧管理指南
电力需求侧管理办法	国家发展和改革委员会	2011 2017 年修正	加重需求侧管理的作用，调动需求侧管理参与者的积极性
工业领域电力需求侧管理参考产品（技术）推广暂行办法	工业和信息化部	最初发布于 2017 年	支持需求侧管理产品的研究、开发、生产和应用
工业领域电力需求侧管理工作指南	工业和信息化部	2019	建立及改进工业领域需求侧管理、能源管理和能源效率的指导方针

## 案例研究 2：试点城市的需求侧管理发展

中国于 2012 年发起了需求侧管理试点城市计划。北京、江苏、佛山和唐山四个城市测试了促进自愿及基于激励的需求侧管理的全面试点计划。例如，北京建立专项基金为临时峰值负荷下降提供 100 元人民币/千瓦 (Zhang 等人, 2017 年) 补贴；城市设定了电力节约和负荷转移目标，而中央政府提供财政激励。

苏州市 (江苏省) 确立了一项目标远大的计划，将负荷缩减目标 (2013-2015) 定为 1,000 兆瓦 (永久：800 兆瓦；临时：200 兆瓦)。有针对性的需求侧管理参与者是工业和市政设施。需求侧管理措施是基于实时定价方案和可中断定价 (Stern, 2015)。

尽管“十三五”规划和“十四五”规划强调了改进需求侧管理能力的的需求，但需求侧管理目前还不是国家优先事项。中国需求侧管理可用的营销选择有限，因为缺乏获得负荷灵活性的基于市场或规则的制度化过程 (IEA, 2021)。此外，需求侧管理的营销目前受限于有序的电力消费以及通过行政措施界定的峰谷定价。

地方政府有义务遵守针对**有序电力消费**设定的行政措施，以管理电力消费。按照以下顺序采取措施：1) 通过电力转移抑制峰值负荷 2) 通过可中断负荷避免峰值 3) 电力限制 4) 拉闸限电。通过电网运营商和电力消费者之间的双边协议落实这些措施 (Schenuit and Vogel, 2018)。

电力定价的**峰谷**差异为大型电力消费者提供了转移负荷、平衡电力供需的经济激励。省级主管部门提前通过行政手段设定峰谷电价。因此，中国的峰谷定价 (到目前为止) 并不是一个基于市场的工具 (Schenuit and Vogel, 2018)。

中国于 2015 年发起了电力市场改革，以确保电力系统的稳定性、进一步加强电力行业的商业化及降低能源消耗和排放 (Khalid, Amin and Chen, 2018)。市场机制，例如电力定价的自由化，在中国的电力系统中越来越受欢迎 (IEA, 2021)。

电力交易正在转变为更高占比的中长期合同。鼓励以签订中长期合同作为主要的市场交易形式，采用各种时间尺度 (年度、季度、月度、每周和日前)，让更多技术参与服务市场，旨在提高中国电力系统的总体效率。2015 年，中长期合同占到中国电力交易的 2% 到 10%，而到 2017 年，比重提高到了大约 26% (IEA, 2019)。2021 年，直接交易的中长期合同占到中国电力消费量的 35% (China Electricity Council, 2021)。推广需求侧管理的参与需要经济激励，中国的电力市场改革在为这种激励铺平道路方面发挥了重要作用 (GIZ, 2021a)。

因为电力供应紧张以及需求的增加，谋求电力供需平衡的努力导致了 2020 年末和 2021 年中国很多省份的断电 (Meidan and Andrew-Speed, 2021)。此情况凸显了对更灵活电力需求的需要，因为需要这种灵活性来应对更多的电力短缺，且在理想的情况下，应以价格来体现电力短缺。

## 总结——中国的需求侧管理政策

尽管中国采用的是行政性的需求侧管理，且二十年来，需求侧管理一直列于中央政府的议程之上，但中国的需求响应市场依然有限。针对基于市场的需求侧管理措施的应用，尚未建立起任何监管框架。

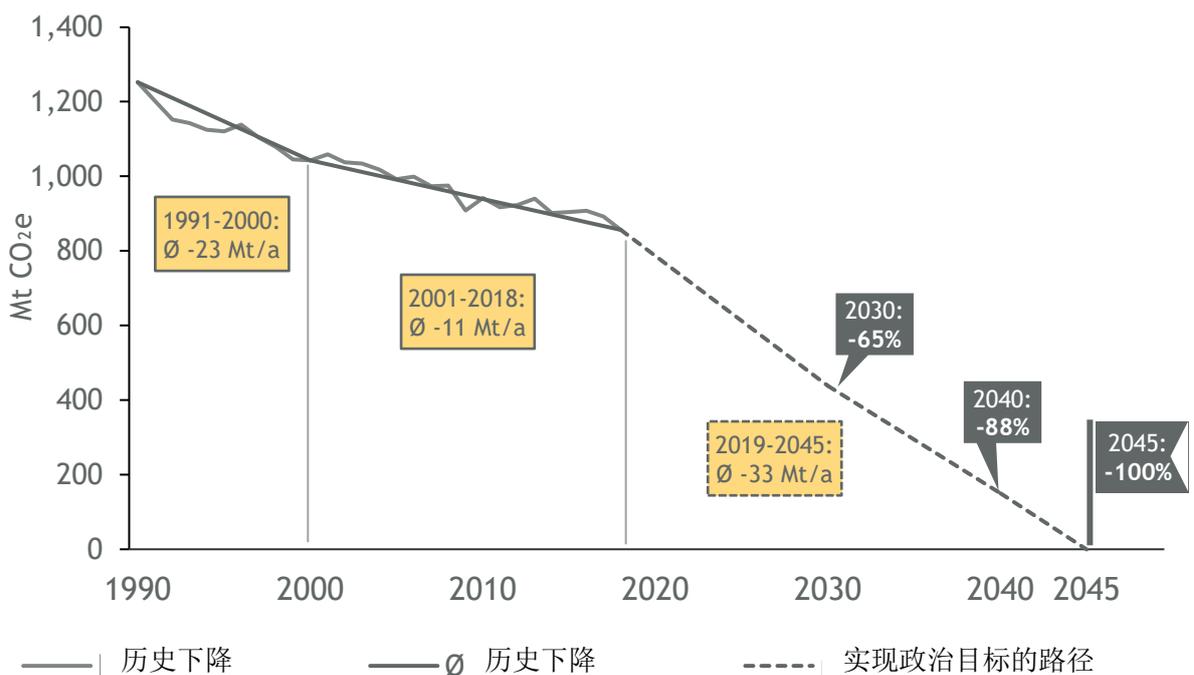
中国的电力市场改革仍在推进之中。过去，为了控制负荷平衡，中国政府一直聚集于供应侧。但是未来，在提供灵活性以及藉此加强电力系统稳定性方面，基于市场的需求侧管理有望成为政府议程的核心要点。

### 3.1.2 德国的政策框架

#### 德国的能源转型目标

2011 年，德国政府决定在 2022 年之前逐步淘汰核电，并设定了远大的气候目标。根据法律规定，德国最迟在 2038 年之前逐步淘汰煤炭，理想的情况下会提前至 2030 年。德国是欧盟（EU）成员国之一，所以欧盟的欧洲气候法律适用于德国。欧盟委员会于 2019 年发起的绿色新政战略让气候行动成为了欧盟的优先事项，包括在 2050 年之前成为第一个气候中和大陆的目标。

图 4：德国温室气体排放和国家气候目标

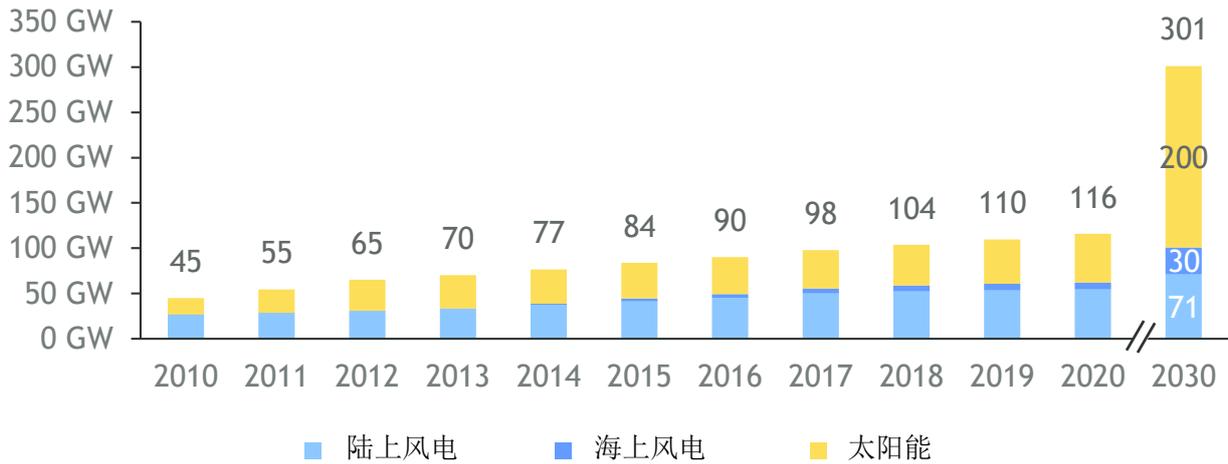


来源：科隆大学能源经济研究所（2021a）

在欧盟的目标之外，德国设定了更加远大的目标，将 2045 年之前达成气候中和的目标纳入其国家法律。2021 年，德国气候法的最新修正案设定了相比 1990 年，温室气体排放量到 2030 年下降 65%、到 2040 年下降 88% 的目标（参见图 4）。此外，法律确定了每一部门的年度许可排放量（Bundesanzeiger, 2021）。

2021年9月当选的德国政府甚至在扩大可再生能源应用方面，公布了更加远大的目标。之前的目标是在2030年之前实现可再生能源在电力消费中的比重达到65%，新的目标计划将比重提高到80%。相应地，新政府提高了扩大可再生能源容量的目标（SPD, Bündnis 90/Die Grünen and FDP, 2021）。图5展示了德国风电和太阳能发电的历史容量和目标容量。

图 5：德国 2010 年-2020 年风电及太阳能发电装机容量及 2030 年目标



来源：BMWK (2021)

### 德国能源效率政策

自1973年石油危机以来，德国的高效能源利用得到了重点关注，颁行了多项推广能源效率的法律和措施。2010年发布的德国能源政策是延续到2050年的长期能源战略，包括减少能耗、提高能源效率的远大目标。德国的能源效率政策包括支持措施、信息服务以及具有约束力的目标。

欧盟越来越加大力度推动德国的能源政策。欧盟委员会推广“能源效率优先”的指导政策原则，向欧盟成员国提供了在国家层面上实施该原则的建议（European Commission, 2021）。欧洲能源效率指令（EED）最早颁布于2012年并于2018年修正，其中就2020以及2030年设定了具有约束力的能源效率目标。在欧洲绿色新政中，根据2021年7月的“Fit for 55”一揽子计划提出了新的指令，其目标是相比2030年欧盟的能源使用量预测，实现32.5%的能源效率提升。如表6所示，德国已在其国家法律中实施多项欧盟指令和法规，其中能源效率发挥着关键作用。

表 6：欧盟的能源效率立法

欧盟法律	年份	落实到德国法律中	能源效率措施
能源效率指令	2012, 于 2018 年修正	Energiedienstleistungsgesetz EDL-G	大型企业每四年进行能源审计或者落实能源管理系统
生态设计指令	2009	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (EVPG)	产品的最低能源效率要求
欧洲工业排放指令：最佳可用技术 (BAT) 参考文件	2010	(对德国企业直接适用)	为新建大型工业设施提供参考
欧盟碳排放交易体系指令：排放限额的自由分配	2013 2021 年修订	(对德国企业直接适用)	基于效率基准值和碳泄漏风险进行的自由配额的分配

为了实现具有约束力的欧盟目标，德国在能源转型的背景下，于 2019 年发布了 2050 年能源效率战略(BMWi, 2019)，提出一次能源消费量相比 2018 年，到 2030 年下降 30%，到 2050 年下降 50% 的目标。

国家能源效率行动计划 (*Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz*, NAPE 2.0) 设定了在 2021 到 2030 年之间实现能源效率改进的多项措施。为了提高德国工业能源效率，未来将提升产品最低能源效率要求框架 (欧盟生态设计指令) 标准，支持市场监察。

工业致力于落实能源审计及能源管理系统措施。政府支持信息交换、咨询服务以及利益相关方的进一步限定。例如，德国联邦经济能源及资源效率基金 (*Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft*) 通过补贴和贷款，为工业能源效率提供财政支持。中央政府为企业提供最高 50% 的补贴，或者为效率投资提供最高 55% 的还款奖励。为优化工业流程中能源及其他资源的利用、实现能源或资源效率提升或者避免化石燃料消费和二氧化碳排放的措施提供支持 (BAFA, 2021)。

### 总结——德国能源效率政策

自 1970 年代起，能源效率一直是德国能源政策的核心支柱。过去二十年里，欧盟一直大力推广能源效率主题，近年来，力度还在不断加强。欧盟委员会设定了远大且有约束力的能源效率目标，欧盟法律也已在德国法规中予以落实。德国的能源效率政策依赖于有约束力的目标和标准、信息服务以及支持措施。

### 案例研究 3：德国能源效率网络

2014 年，德国政府与多个行业机构携手建立了能源效率倡议网络，在德国能源署 (Deutsche Energieagentur, dena) 技术和组织支持下，在 2020 年底，创设了 500 个能源效率网络。2022 年 3 月，登记了 336 个能源效率网络，涵盖了 2,669 家企业。工具将延续并延伸至 2025 年。

能源效率网络包括八到十五家企业，平均运营年限为两到三年。能源管理咨询分析了网络的能源效率潜力，指出了改进的潜力。之后，企业提出了自愿、没有约束力的节能目标，制定了相关措施。

网络支持经验和最佳实践的交流。这种交流可与大型企业的强制性能源审计相结合，此外，对网络中的节能进行监管。能源管理服务的成本因共享资源而下降，同时可以获得财政支持 (Initiative Energieeffizienz Netzwerke, 2019)。

## 德国需求侧管理政策

德国发起了通过市场激励推动自愿电力需求管理的需求侧管理政策，该政策主要依靠欧盟的努力来推动。通过欧盟电力市场的自由化，欧洲电力指令（2009）（第三组能源法案）为德国以及其他欧盟成员国引进需求侧管理措施创造了机会。

2012年能源效率指令构成欧盟发展需求侧管理的坚实一步。指令旨在推动需求侧响应灵活性的发展，引进欧盟委员会作为在国家层面上落实需求侧管理的监管机构。过去几年，德国政府一直使用各种工具推动需求侧管理的落实 (Valdes *et al.*, 2019)。电力市场法案和能源转型数字化法案均于2016年颁布，这两部法案进一步发展了电力市场，构成了电力市场 2.0。

欧盟委员会发布了欧洲电力平衡指导方针（EBGL），强调针对系统稳定性采取额外需求侧管理措施的重要性，监管负荷平衡机制。因此，德国放松了需求侧参与者参与平衡市场的门槛。

表 7：建立及监管需求侧管理的德国法规

德国法规	年份	描述/相关条款
能源行业法案（EnWG）	2005 2021年修正	条款 13 输电系统运营商为其领域内供电系统安全所负的责任 条款 51a 允许监管机构执行负荷管理监督
可中断负荷指令（AbLaV） （基于能源行业法案）	2012 2016年修正 效力截至 2022年7月1日	推广工业可转换负荷的使用，以稳定输电电网
电网收费条例（StromNEV） （基于能源行业法案）	2005 2021年修正	推广平衡基团，例如 条款 19 通过非典型电力消费行为减少网络收费 条款 17 通过减少峰值负荷减少网络收费
DIN EN ISO 50001 能源管理系统国际标准	2018年修正	企业需求侧管理潜力的分析

### 案例研究 4：需求侧管理——巴伐利亚州试点项目

需求侧管理巴伐利亚州试点项目（2013-2016）旨在通过提高电力需求的灵活性为企业提供支持。位于德国巴伐利亚州的各行业企业参与了此项目。

通过设定灵活且可操作的生产流程、宣传现有的需求侧管理潜力，支持企业确认其自身的需求侧管理潜力。作为项目的一部分，为决策者提供相关知识 (Seidl, Schenuit and Teichmann, 2016b; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie, 2018)。

德国为需求侧管理潜力确立了四种营销机会，表 8 总结了每一个细分市场并提供了简要的描述。为了详细地讨论这些市场，请参考德国能源署之前发布的报告 (Schenuit and Vogel, 2018; Vogel, Schenuit and Jian, 2019)。

**表 8：工业需求侧管理潜力市场**

市场细分	描述
现货市场	企业可以在欧洲能源交易所 (EEX) 的现货市场上营销自身的需求侧管理潜力。
可中断负荷指令 (AbLaV)	符合电网稳定性目标的营销是基于可中断负荷指令，参与者可被授权减少电网运营商的消费量。
平衡能源	输电系统运营商通过在两个提供平衡能源的市场——即平衡电力市场 (Regelarbeitsmarkt, RAM) 和控制电力市场 (Regelleistungsmarkt, RLM)——参与招投标流程，获取不同的控制备用。平衡电力市场和控制电力市场的参与者必须成功通过资格预审流程。
平衡基团管理	平衡管理利用双边协议和财政补偿平衡负荷，形成营销工业需求侧管理机会。

来源: dena (2021c) and Schenuit & Vogel (2018)

现货市场对工业需求侧管理的营销具有重要意义。德国企业可以在现货市场营销自身的需求侧管理潜力，基于价格信号转移其电力需求。这种营销机会聚焦于需求侧管理潜力的分析，详见第 4 章。

除了现货市场外，可中断负荷指令 (AbLaV) 和平衡能源也是工业需求侧管理的相关市场，但本报告不着重分析。通过《可中断负荷指令》提供的营销机会将于 2022 年 6 月后截止。目前，关于潜在的后续监管，并未正式公布。

### 总结——德国需求侧管理政策

欧盟积极推广需求侧管理的使用，推动需求侧管理措施在德国的扩张，德国在本国法律中落实了欧盟法规。需求侧管理存在多种营销选择。

## 3.2 中德两国能源效率和需求侧管理面临的挑战

### 3.2.1 中国面临的挑战

中国依赖化石燃料的能源系统向可再生能源系统的转型是一项巨大挑战，尤其是从监管的角度来看，中国电力市场和能源政策正处于转型过程中，目前缺乏稳定的长期监管环境，无法确保利益

---

相关方和投资者的可预测性 (Stern, 2015; GIZ, 2021a)。中国政府通过电力市场改革发起了重要变革, 但其落实的政策并不能消除某些障碍。

中国各省份之间依然不愿开展电力交易。以中长期电力合同取代现货及区域交易的优势, 电力市场结构助长了省际保护主义。这种地方保护主义——即地方决策制定者专注于地方输出——给中国造成了负面的经济和环境影响。中国能源部门和工业部门也有这种情况。

中国幅员辽阔, 地区差异巨大, 例如在经济发展、能源产生和消费、可再生能源潜力和工业结构等方面存在差异。此外, 各省及地方行政体制在人力和金融资本方面也存在差异 (Zhu, Bai and Zhang, 2017; Khalid, Amin and Chen, 2018; Viota, 2018)。国家层面上设定的政策和目标面临着地方和地区政策落实方面的挑战。中国行政制度复杂, 阻碍政策落实的利益冲突时有发生 (Stern, 2015)。

### 中国工业能源效率的监管和财政挑战

在协调国家能源效率目标与能源效率政策的地方层面实施方面, 中国面临着挑战 (GIZ, 2020)。自上而下地设定能源效率目标造成经济效率问题, 尤其是对个体企业而言。考虑到不同企业的能源效率潜力, 难以有效地在各企业之间分配目标 (Zhu, Bai and Zhang, 2017)。落实国家政策的地方能力和政治意愿也存在区域差异, 这将带来局限性 (Viota, 2018)。

能源消费等数据的可用性、精确性和可及性在监管及评估中国能源效率改进方面, 构成了一些行政挑战。地方及省级政府、国家机构和企业等相关活动方往往不愿意分享数据, 主管部门缺乏对政策执行的必要监督、报告和验证流程 (例如能源效率标准的强制执行) 的人力、技术和财政资源 (Zhu, Bai and Zhang, 2017; Viota, 2018)。

除了这些政治和行政挑战外, 中国工业能源效率的进一步改进也存在经济和财政障碍。(工业) 电价与国际水平相比相对较低, 当能源成本不构成企业的主要财政负担时, 这种较低电价就可能动摇公共能源效率的动力 (GIZ, 2020)。尤其是对私营企业而言, 额外能源效率措施的投融资是一项挑战, 因为投资可能超过所要求的回收期 (Viota, 2018)。

### 中国工业需求侧管理的监管和技术挑战

目前, 自愿需求侧管理在中国没有得到广泛应用。为了提高自愿需求侧管理的传播度, 需要解决各种政策、行政和财政障碍。巨大的地区差异、能源市场改革的不同落实状态以及需求侧管理的应用给建立需求侧管理措施的全面政策造成了挑战 (Khalid, Amin and Chen, 2018)。

尽管存在增加需求侧管理、刺激需求侧管理措施的国家目标, 但地方政府还在继续采用强制性行政措施来控制电力需求 (Zhang, Jiao and Chen, 2017)。尽管政府旨在加强需求侧管理机会的建立和应用, 但这 (还) 不是政治优先事项, 中央政府并未明确指示地方主管部门推广需求侧管理。总的来说, 不论是电网企业建立受激励的需求侧管理计划, 还是电力消费者利用需求侧管理的机会, 都无法得到政府的充分奖励 (Zhang, Jiao and Chen, 2017; Khalid, Amin and Chen, 2018; GIZ, 2021a)。

尽管存在挑战, 但一些中国城市已经建立了需求侧管理试点项目。通过这些项目获得的最重要结论是: 具有时间依赖性的差别定价构成利用基于市场的需求侧管理措施的基础。在某些试点项目中, 时间上的价格差以及据此可能获得的利益太小, 无法让工业需求侧管理参与者收回成本 (Zhang,

---

Jiao and Chen, 2017)。此外，一些项目在获得必要的实时能源数据方面也存在困难。尽管落实需求侧管理措施离不开监管，但某些项目在参与者的认证和监管中面临着限制(Khalid, Amin and Chen, 2018)。

例如，必须在需求侧负荷控制方法和管理平台方面进行投资。这些方法和技术要求企业或政府在需求侧管理设备及管理软件方面进行巨大投资(Energy Research Institute of the National Development and Reform Commission, 2020)。

### 总结——中国面临的挑战

中国政府通过电力市场改革发起了朝着自由化电力市场迈进的变革，但目前落实的政策并不能消除提高能源效率、激励需求侧管理的某些重大障碍。

国家设定的能源效率目标往往不会考虑个体企业的潜力。此外，数据可用性、精确性和可及性构成了监管及评估能源效率改进的行政挑战。

目前，不论是电网企业建立受激励的需求侧管理计划，还是电力消费者利用需求侧管理的机会，都无法得到中国政府的充分奖励。

### 3.2.2 德国面临的挑战

德国电力系统主要是基于市场原则。电价会在每小时（一小时内）时间跨度上发生变化，这为基于市场的需求侧管理以及能源效率改进的大规模投资提供了激励。但是，其进一步的发展依然存在财政和监管障碍。

#### 德国工业能源效率的财政挑战

同中国一样，德国提高工业能源效率的最大挑战形成了经济障碍(Kube *et al.*, 2017)。高投资成本、某些情况下的长摊还期限以及投资风险构成了工业能源效率进一步改进的挑战。短期内，能源效率改进可能对企业没有经济吸引力，因为这些投资往往无法带来直接回报。对能源效率改进的成本和效益了解不足，加剧了这种挑战(Ecofys, 2016; Brüggemann, 2018)。但是，对很多创新的工业能源效率措施来说，其投资成本和潜在节能无法一概而论，因为这些都取决于具体的应用(Kube *et al.*, 2017)。

除了投资赤字以外，缺乏专门技术知识以及对投资机会的了解，尤其是缺乏优化的技术和创新工艺，可能限制工业能源效率的潜力(Ecofys, 2016; Brüggemann, 2018)。对地方及国家层面上现有支持措施（例如能源效率改进的补助和贷款）的了解不足，可能降低该支持计划的潜在积极影响，复杂的申请程序及漫长的审批期限也是如此(Kube *et al.*, 2017)。

---

## 德国需求侧管理的监管和财政挑战

需求侧管理存在多种营销选择，可供企业使用，但是监管障碍阻碍了现有技术潜力的充分发展 (Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, 2016; Stavenhagen, 2017)。

工业消费者网络收费的当前计算方法造成了与现货市场价格信号相悖的激励。个体网络收费（《电网收费条例》条款 19.2）激励具有时间恒定性的电力消费。尤其是能保障负荷曲线充分可预测性的企业，可以得到奖励。例如，年满负荷运行小时数超过 7,000 的企业可以议定个体网络费用。如果企业低于此门槛值，就会丧失特权。这种规则妨碍了需求侧管理的应用。

网络收费计算的另一个特殊案例是非典型电网使用（《电网收费条例》条款 19.2）。输电电网运营商提前一年设定峰值负荷时间窗口。如果企业可以在这些指定的时间窗口内减少负荷，就能从网络收费下降中获益。

但是，因为预测期长，这些窗口并不一定能反映市场和电网的实际情况。即便实际市场条件可能意味着积极的系统价值，但企业在其峰值负荷时间窗口内使用需求侧管理的动机大幅下降。如果一家企业在这些时间窗口增加了负荷，那它就失去了获得网络收费下降的权利。

此外，一些需求侧管理营销选择须满足严格的资格预审要求，尤其是在平衡能源的情况下，这就形成了巨大的市场准入障碍。因为这些严格的要求，提供需求侧管理潜力的企业数量也下降了 (Ecofys, 2016)。

工业企业缺乏技术相关技术，限制了工业需求侧管理措施的更广泛应用。在能源密集型行业，需求侧管理以及需求侧管理潜力的相关知识依然相对未知 (Seidl, Schenuit and Teichmann, 2016a; Schenuit and Vogel, 2018)。此外，监管框架频繁变化，企业必须不断适应新环境，这对企业的规划安全性造成了风险 (Ausfelder, Seitz and von Roon, 2018)。

### 总结——德国面临的挑战

高投资成本、长摊还期限以及投资风险构成了工业能源效率进一步改进的挑战。除了投资赤字以外，缺乏专门技术知识和诀窍，尤其是缺乏优化的技术和创新工艺，限制了工业能源效率潜力的兑现。

监管障碍阻碍了需求侧管理现有技术潜力的充分发挥。尤其是与个体网络收费和非典型电网使用（《电网收费条例》条款 19.2）相关的网络收费的现行计算方法，造成了与现货市场价格信号相悖的激励。

## 4 中德两国能源效率和需求侧管理的模拟

本章介绍报告随附的模拟工具，呈现工具的潜在方法和功能运作，解释计算电力市场价格的方式以及落实二氧化碳评估的方式。此外，详细讨论能源效率增益和需求侧管理的落实。尽管中德两国电力市场目前存在根本性差异，但为简单起见，针对中德两国采用了相同的方法，预计未来两国在市场设计和法规方面将更具可比性。

第二部分呈现了工具的框架以及当前及未来的能源系统。对德国来说，大多数假设是基于德国能源署“迈向气候中和”试点研究的更新(EWI, 2021b)，中国的框架是基于国际能源署《中国能源体系碳中和路线图》(IEA, 2021)。本章最后讨论工具就默认情景得出的结果，默认情景的所有设置都包含在附录中。

### 4.1 高效的系统优化方法

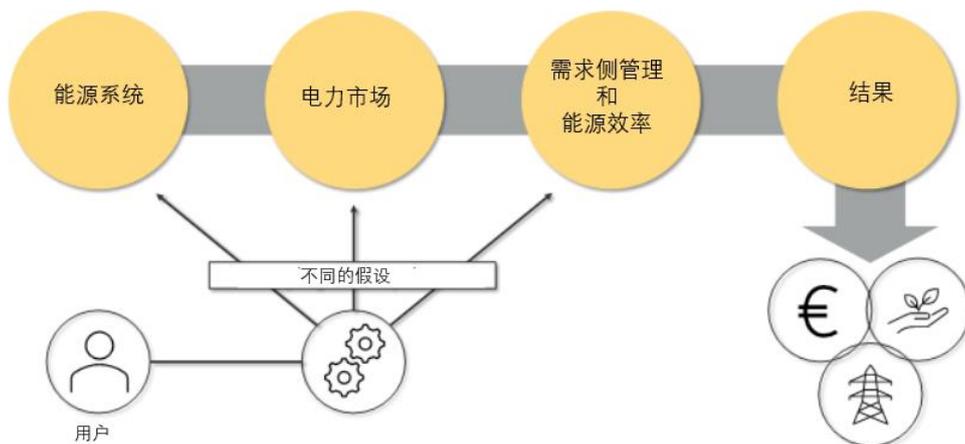
项目开发了一个模拟工具，以量化能源效率和需求侧管理在中德两国发挥的影响。用户可使用此工具评估政策措施（例如能源效率投资补贴）的影响，或者分析提高需求侧管理潜力的新技术的成果。

为此，落实了基于优先次序定价的电力市场。电力市场模拟计算每小时价格时序，包括峰值价格和负价格的启发式方法。这种启发式方法提供了应用及评估能源效率和需求侧管理措施的依据。

在工具中，用户可以改变与能源系统、电力市场相关的各种假设以及应用能源效率和需求侧管理措施的技术假设。所有参数的默认设置都是基于深入的文献研究以及与相关行业内的企业和研究人员的访谈。2030年和2035年能源系统情景的框架数据分别是基于EWI (2021b) and IEA (2021)研究。

工具的输出内容中包括对优先排序、平均电价以及能源效率和需求侧管理措施的收益和减排的概述。可以同时针对中国和德国设置及计算输入和输出内容。图6展示了工具的整体理念。下文介绍了工具用于不同细分市场的方法。

图 6：能源效率和需求侧管理工具的主要理念



## 市场价格的计算

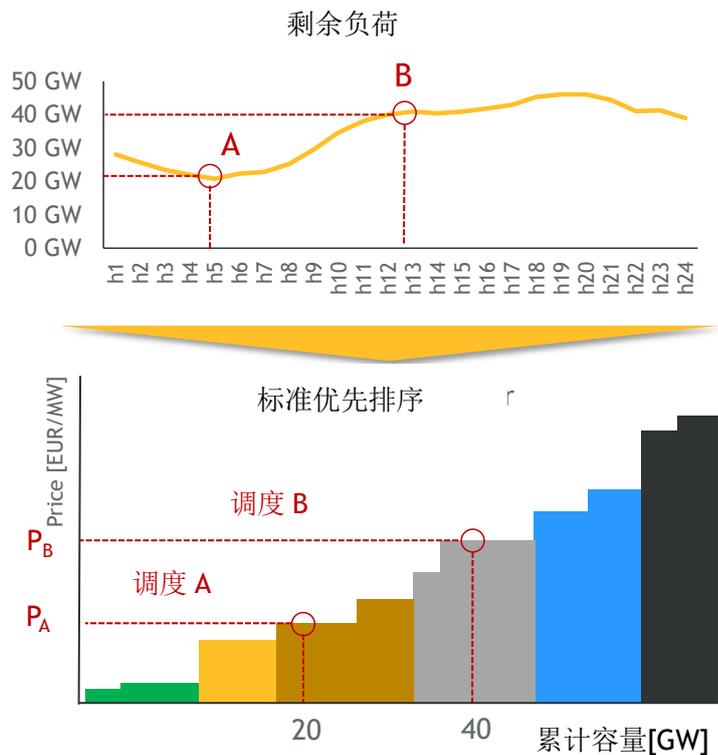
工具计算中德两国每小时的日前市场价格，计算基于统一价格机制下的优先排序方式。首先，计算剩余负荷曲线——即需求和可再生能源发电量之间的差别，以获得每小时价格。

中国当前的市场定价与优先排序方式有根本性的区别。但出于模拟的目的，以一种简化的方式假设市场形成电价，以形成对两个国家的比较分析。

总的来说，剩余负荷必须由可调度发电厂覆盖。按照每一机组的边缘发电成本，按升序排列可调度的发电厂。

可以通过每小时剩余负荷以及有序排列的发电厂得出每小时价格。最后调度机组的边缘成本决定了相应小时内的市场价格。此部分并未考虑市场耦合，因此也并未考虑与其他电力市场之间的输入或输出。图 7 示意性地阐明了相关方法。

图 7：剩余负荷（顶部）和标准优先排序（底部）示例图

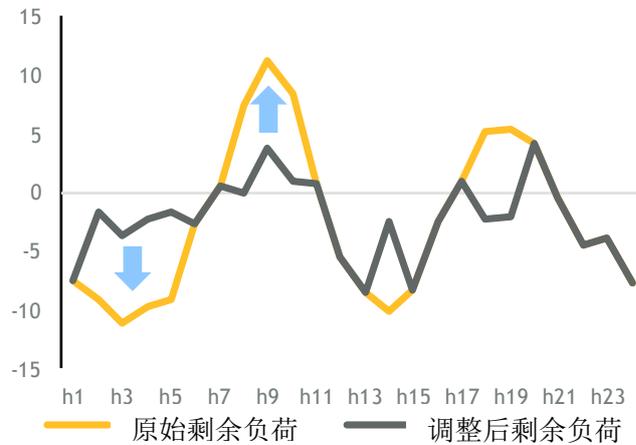


## 储存评估——剩余负荷的平滑化

为了平衡可再生能源的波动性，未来的能源系统极其需要储存和灵活性措施。由于跨时期的特征，优先排序无法顾及灵活性。尽管工具的焦点是对能源效率和需求侧管理的影响进行模拟，但其他灵活性措施（例如大型电池）会影响市场价格，因此被纳入考虑范围内。

通过降低预先定义的时间间隔内剩余负荷曲线的波动性，模拟这些附加的灵活性措施。换句话说，取决于可用的储存容量，剩余负荷曲线的峰谷会大幅降低。在工具内可以调整这些措施的电力和储存规模，而通过储存进行负荷转移的时间间隔依然是恒定的。

图 8：灵活性评估示例



### 价格调整——峰值定价和负定价

根据工具内的边缘供电成本，计算优先排序。在现实的能源市场，当存在高储能时，电厂运营商会 在边际成本之上设置附加费。因此，电力成本可能超过边际成本——尤其是在储存的时间段内。为了融合更切合实际的**峰值定价**的模拟，用户可以设定外源性的最大价格以及适用峰值定价的小时数。之后，工具在设定的最大价格以及峰值价格调整前的最高市场价格之间，非线性地插入数值。图 9 示范性地呈现了峰值价格启发式方法。

高可再生能源馈入量的能源系统具有会出现临时能源过剩的特征。假定在这些时间段内设定价格的 可再生能源发电的边际成本为零。在现实市场上，某些传统发电机组的不灵活性与可再生能源 补贴机制之间的相互影响可能导致负市场价格。因此，用户可以设定外源性的最低价格，以在工具 中融入**负价格**。之后，对负剩余负荷进行分类，计算负价格——负负荷宣告地越多，所导致的负价 格就宣告地越多。通过最低价格确定边界，零对应于可再生能源的边际供电成本。图 10 呈现了此 过程。

图 9：峰值价格方法图示

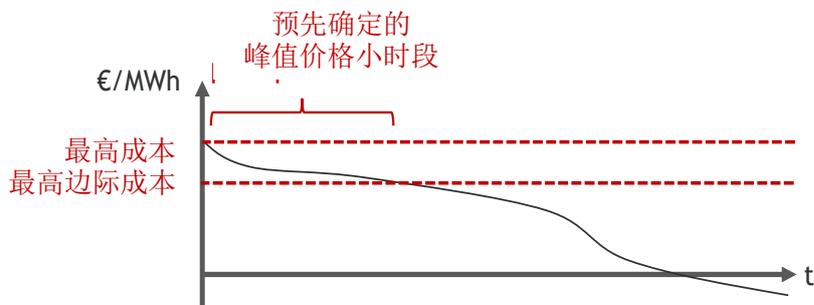
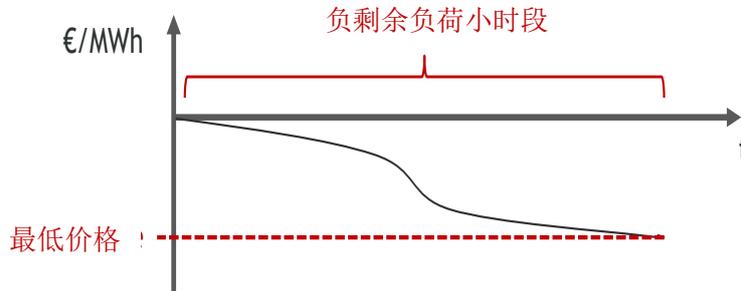


图 10：负价格方法图示



## 二氧化碳评估

工具基于调度电厂的小时排放强度，计算电力供应的小时二氧化碳排放量。假定国外电厂（电力进口）二氧化碳排放量为零。

预计在 2035 年之前，碳捕获技术将在中国电力系统中得到广泛的应用，尤其是燃煤发电机组。相应地，采用 90% 的默认减排系数，预先确定每一供电技术的排放强度，用户可对此进行调整。

## 能源效率

对能源效率的讨论局限于绝对电力节约量（参见章节 2.1）。这种潜在的节约是基于总年度节约潜力的假设，这种潜力会导致选定行业能源强度的下降。

用户可以分别针对德国和中国 2030 年或 2035 年相对于基准年份 2019 年的潜在节能量做出假设（%）。可以针对选定的工业部门分别设定潜在节能量。工具计算了平均（净）经济节约量<sup>5</sup> $P_{sav,sec}$ （欧元）以及间接环境节约量  $EM_{sav,sec}$ （吨二氧化碳）。

**经济节约量**源自于节省的电力。能源效率增益导致了电力消费量的绝对下降，所以计算经济节约量时，必须考虑电力的市场价格和相关税费。因此，考虑具体国家市场电价在行业必须支付的电力终端价格中的占比  $MPS_{ctr}$ 。为了计算一年内的总经济节约量，要用平均市场价格  $MP_{avg}$  乘以部门效率增益  $EE_{sec}$  及年度部门电力需求  $D_{sec}$ ，除以市场价格占比（参见以下方程式）。

$$P_{sav,sec} = (MP_{avg} * EE_{sec} * D_{sec}) / MPS_{ctr}$$

通过减少总负荷可以相应地减少发电的二氧化碳足迹，从而实现间接的**环境节约量**（ $EM_{sav,sec}$ ）。间接的部门减排计算方式是用供电的平均排放强度  $EM_{avg}$  乘以部门效率增益以及年度部门电力需求（参见以下方程式）。

$$EM_{sav,sec} = EM_{avg} * EE_{sec} * D_{sec}$$

<sup>5</sup> 在工具中，未考虑相关措施的任何投资或运营成本，平均经济节约量只是净节约量。

## 需求侧管理

考虑切负荷和负荷转移，对需求侧管理进行建模。具有不同装机容量和可行性系数的多种过程可以应用于每个部门。

**切负荷**在市场价格超过预定上限时适用，每年的切负荷总额是有限的。

**负荷转移**在滚动转移持续期内的价差较高时适用。通过下降持续期内的平均价格和上升持续期内的平均价格之间的差异，计算该价差。每年转移的总次数是有限的。

图 11：负荷转移示例图

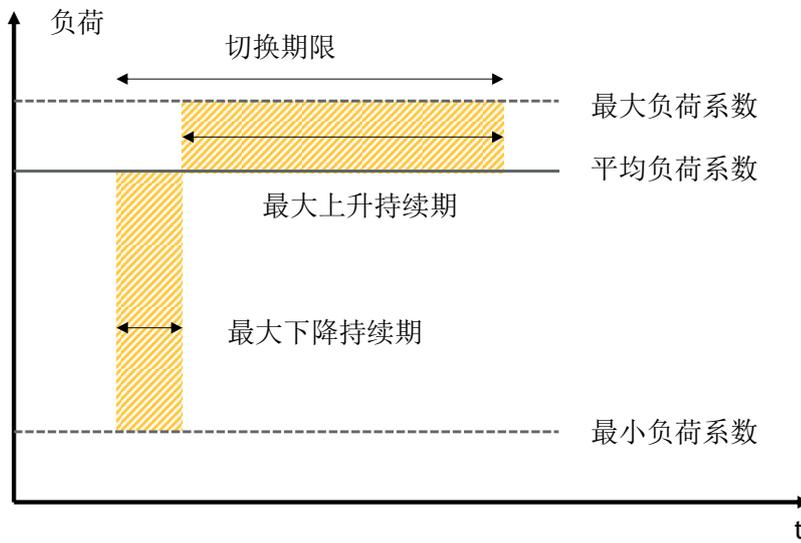


图 11 呈现了模拟需求侧管理所必需的相关技术假设。需求侧管理的潜力受限于多种技术，例如生产流程的最小和最大负荷系数或者上升/下降的最大时间。作为政府报告补充的模拟工具提供了所有技术参数相关假设的概述。此外，还针对所考虑的工艺给出了假设。通过与行业专家的访谈确定潜在的数据，该数据基于 Fichter & Creutzburg (2019), FfE (2022), Godin (2019), Guminski et al. (2019), Hübner et al. (2019) and Steurer (2017)，可被视作默认设置。用户可调整该设置，以识别和分析技术假设中各种变化的影响。

切负荷带来的（净）经济节约量<sup>6</sup>等于适用切负荷之时的市场价格 $MP_t$ 除以市场电价在工业消费者为电力消费支付的终端价格中的占比 $MPS_{ctr}$ 。负荷转移带来的经济节约量的计算方式是：所转移的负荷量 $E_{shift}$ 乘以上升小时数和下降小时数之间的价差中值 $MP_{spread,t}$ （参见以下方程式）。

$$P_{sav,shed} = MP_t / MPS_{ctr}$$

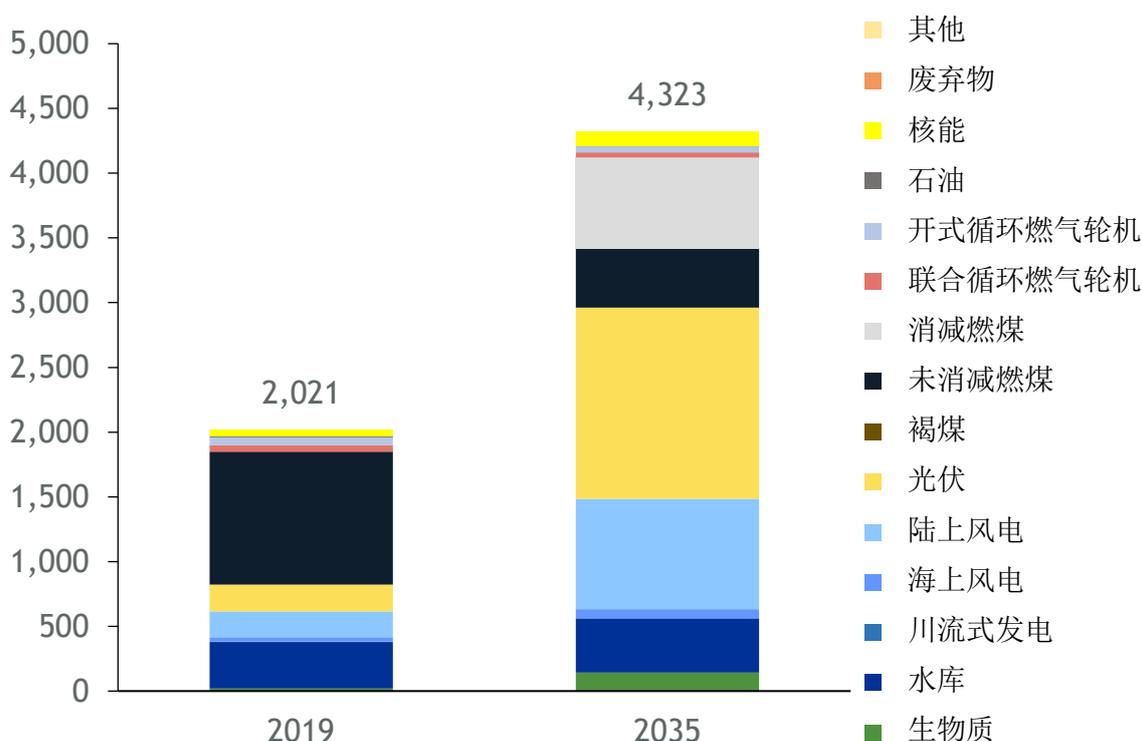
$$P_{sav,shift} = E_{shift} * MP_{spread,t}$$

<sup>6</sup> 在工具中，未考虑相关措施的任何投资或运营成本。因此，平均经济节约量只是净节约量。

## 4.2 框架：目前和未来的能源系统

为了模拟能源效率和需求侧管理对能源系统的影响，必须先确定目前和未来的能源系统框架。除了方法（章节 4.1）中介绍的基本技术假设以外，必须就能源系统和工业做出假设。

图 12：中国的装机发电容量



来源：IEA (2021)

下文将简要介绍核心假设。这些假设以及进一步的假设在模拟工具中被设为默认值，用户可以调整所有描述的参数。因此，在条件发生变化时，可以调整工具中开发的假设以及下文描述的框架。

### 中国

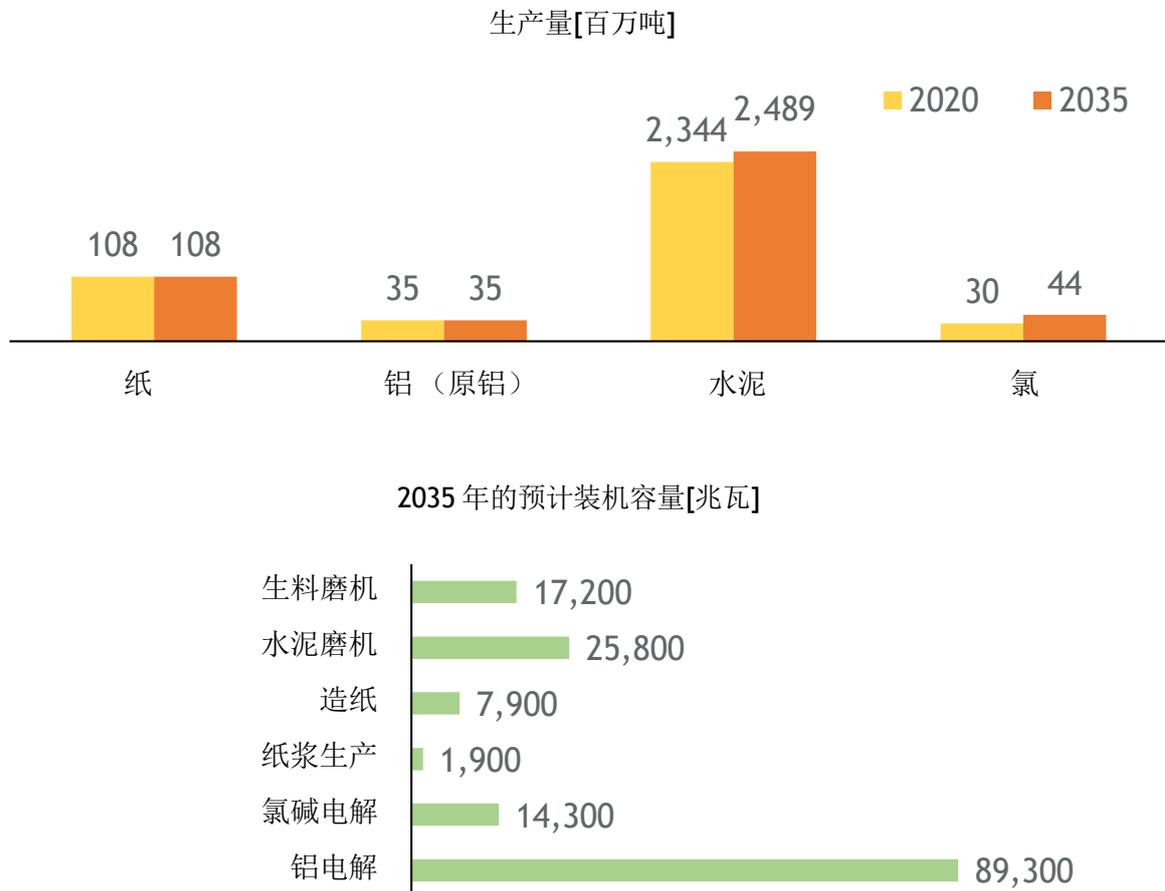
2019 年中国能源系统以（未减排的）燃煤电厂为主导，装机容量大约 1,028 吉瓦（见图 12）。2019 年，可再生能源总共占到 822 吉瓦。中国发电结构的巨大变化预计会持续到 2035 年 (IEA, 2021)。

燃煤电厂的装机容量预计会从 130 吉瓦增长到 1,158 吉瓦，其中 40% 将通过碳捕获技术进行改造（减排的煤炭）。2035 年，可再生能源装机容量预计会增加 2,140 吉瓦，总计达到 2,962 吉瓦。大部分装机容量可能来源于太阳能光伏；到 2035 年，装机容量将从 206 吉瓦增加到 1,478 吉瓦。第二重要的发电技术是陆上风电，装机容量将从 2019 年的 200 吉瓦增加到 2035 年的 850 吉瓦。

波动性可再生能源在未来中国能源系统中占据主导地位，随着可再生能源比重的与日俱增，灵活性选择变得更加至关重要。需求侧灵活性选择有助于平衡供需，维持能源安全性。

尤其是针对需求侧管理，选定行业的生产量和生产能力是必不可少的输入值。模拟工具计算生产能力，从而计算出生产量和平均负荷的技术需求侧管理潜力。图 13 呈现了选定行业的历史和未来生产量以及预计的未来装机容量。

图 13：中国工业生产量（上表）和需求侧管理过程的预计装机容量（下表）



来源：国际能源署（2021），中国国家统计局（2019）

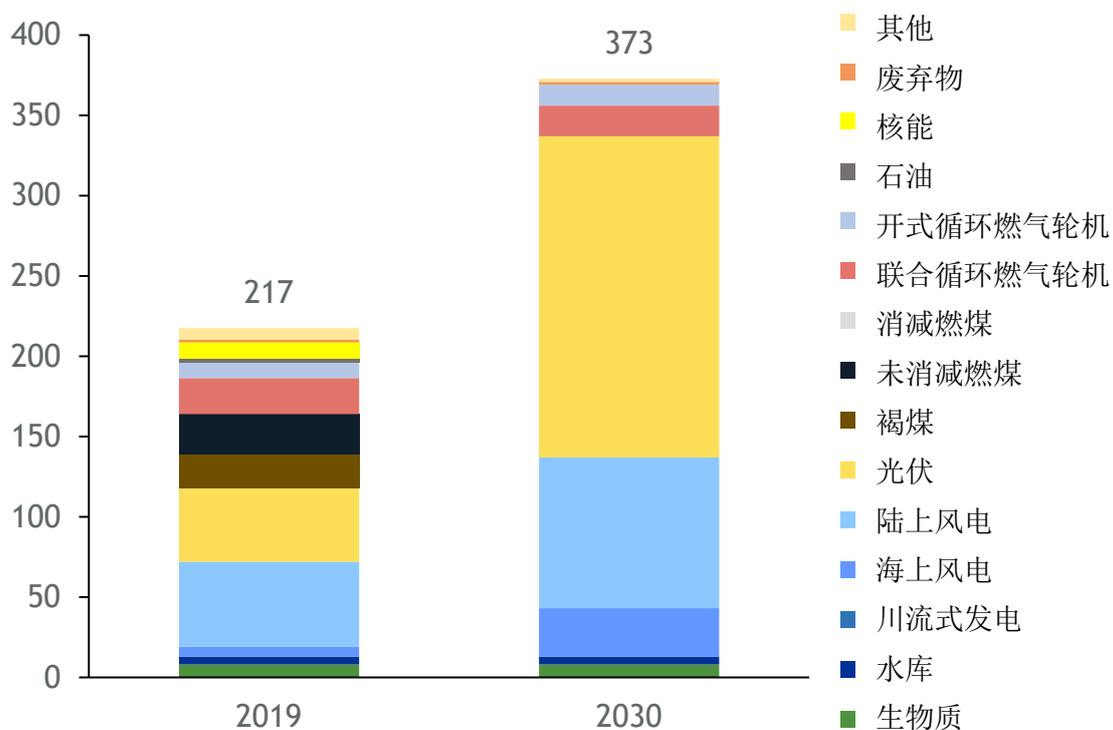
## 德国

图 14 展示了德国当前及未来能源系统的装机容量。装机容量是基于 EWI (2021b)。2019 年，德国能源系统中传统电厂和可再生能源电厂在装机容量方面具有平衡的比例。联邦政府设定了 2030 年可再生能源在能源系统中占比达到 80% 的目标，这就要求大幅增加可再生能源的装机容量。

相应地，可再生能源容量预计会翻倍，从 2019 年 118 吉瓦增加到 2030 年的 337 吉瓦。同时，传统电厂的装机容量从 2019 年的 99 吉瓦降低到 2030 年的 36 吉瓦。这些数字是基于德国联邦政府公布的计划 (SPD, Bündnis 90/Die Grünen and FDP, 2021)。和中国一样，德国波动性可再生能源的比例不断提高，因此必须利用需求侧管理等需求侧灵活性选择。

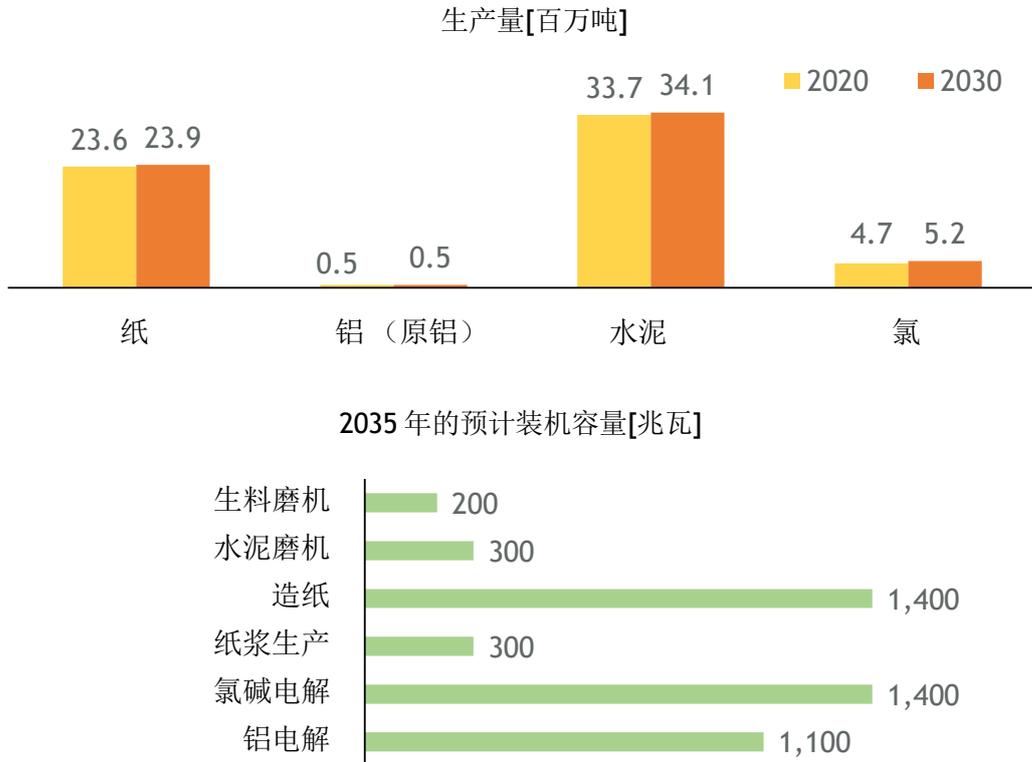
尤其是针对需求侧管理，选定行业的生产量和生产能力是必不可少的输入值。模拟工具计算生产能力，从而计算出生产量和平均负荷的技术需求侧管理潜力。图 15 呈现了选定行业的历史和未来生产量以及预计的未来装机容量。

图 14：德国的装机发电容量



来源：科隆大学能源经济研究所（2021b）

图 15：德国工业生产量（上表）和需求侧管理过程的预计装机容量（下表）



来源：科隆大学能源经济研究所（2021a）

### 4.3 预计潜力及其对能源市场的影响

下文将介绍了模拟工具的主要结果，讨论所考虑过程的预计潜力及其对电力市场的影响。图 17 和图 19 的结果对应模拟工具中的默认情景。模拟工具和附录一目了然地呈现了所有基本假设和结果。

#### 中国

图 17 展示了模拟工具针对中国模拟的主要结果，阐明了优先级、平均电力批发市场价格、电力平均排放强度、2030 年潜在的需求侧管理节约以及能源效率的能量、环境（CO<sub>2</sub>）和经济节约量。

图示的**优先排序**直接源自于设定的能源系统情景，是市场模拟的基础。可再生能源发电技术和传统发电技术的装机容量、排放价格、燃料价格、运输成本及其他可变发电成本直接影响了优先排序，因此也影响了电价。

图 16: 2035 年中国典型周内的每小时剩余负荷（默认情景）

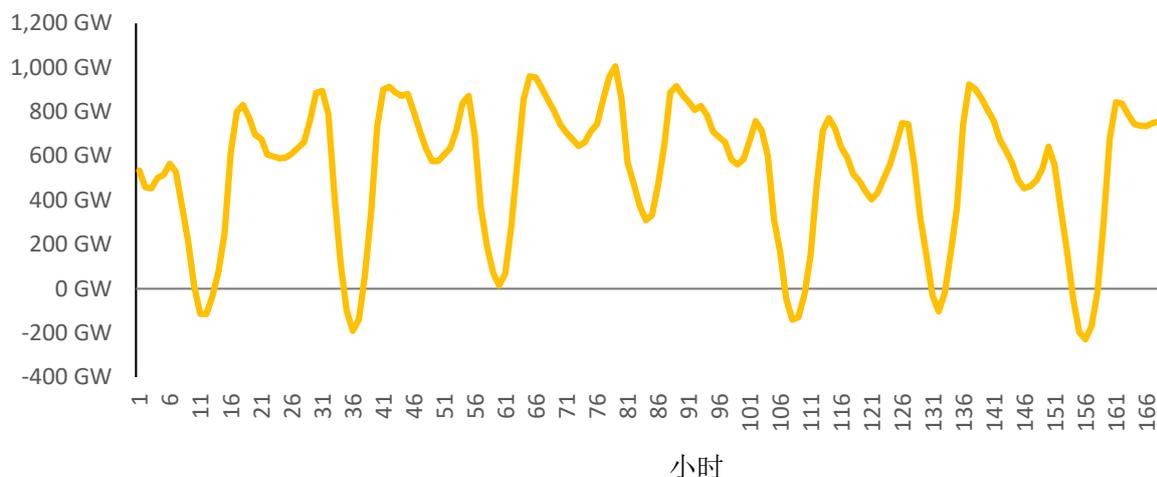
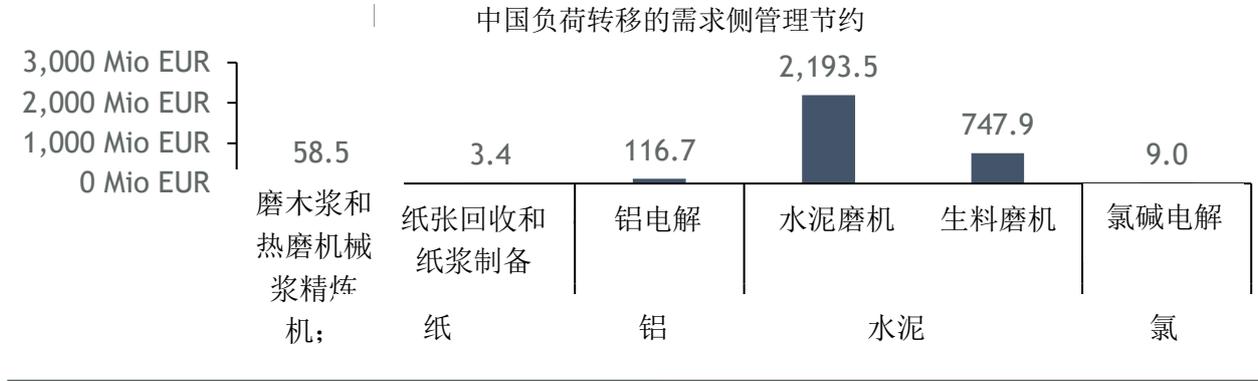
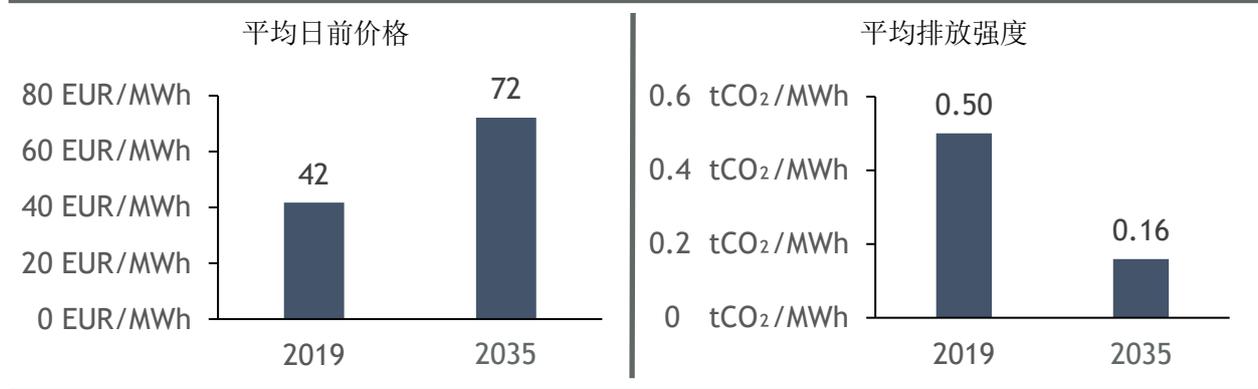
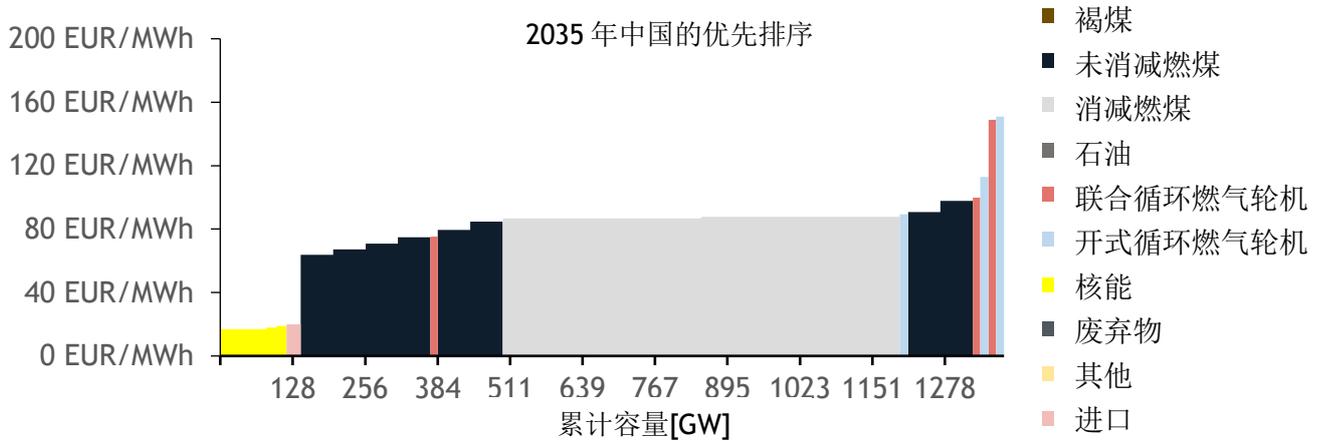


图 16 展示了默认情景中使用 2035 年典型周内的每小时剩余负荷。如章节 4.1 中的内容，剩余负荷是需求和可再生能源发电量之间的差值。在此范例中，剩余负荷曲线的形状随太阳能板的发电量而变。当剩余负荷为负数时（例如第 11 和第 36 小时），可再生能源的发电量大于需求。需求侧管理等灵活性措施可以在这些时间段，通过增加用电需求，来帮助稳定电力系统，而在剩余负荷较高、可再生能源发电量较低的时间段，可以减少用电需求。因此，需求侧管理可能有助于解决电网堵塞，避免必须对剩余可再生能源发电量进行其他方面的监管，从而减少二氧化碳排放量。

在中国的默认情景下，累积负荷达到 1,300 吉瓦左右之前，未减排及减排的煤炭在优先排序中占主导地位，因此会成为决定电价的主要因素。可再生能源并不是优先排序的一部分，因为只有剩余负荷——即总需求减去可用可再生能源发电量的差值——才必须通过边际成本大于零的传统电厂满足。假设可再生能源的边际成本为零。

图 17: 模拟工具中 2035 年中国默认情景下的结果



注: 每一行业能源效率增益的典范计算设定为 1%

---

使用优先排序、假定的用电需求和终端使用部门的负荷情况，计算出 2035 年的**平均电价**。此外，还确定了发电的**平均排放强度**，如章节 4.1 所述。尽管平均电价从大约 42 欧元/兆瓦时提高到 72 欧元/兆瓦时，但平均排放强度从 0.50 吨二氧化碳/兆瓦时下降到 0.16 吨二氧化碳/兆瓦时。电价提高主要是由更高的排放价格造成：假设从 2019 年的 4 欧元/吨二氧化碳左右提高到 2035 年的 47 欧元/吨二氧化碳。

此外，燃煤电厂的碳捕集与封存（CCS）也导致了边际成本的提高。这些减排煤炭电厂的边际成本高于未减排的煤炭电厂，但每单位电力节省大约 90%的二氧化碳排放量，降低了排放价格造成的额外成本。排放强度的下降是由扩大减排煤炭和可再生能源的使用造成的。减排煤炭电厂的假定边际成本大都低于未减排煤炭机组的边际成本，所以这些电厂在优先排序中往往排在第一位，会被更频繁地调度。

2035 年**潜在需求侧管理**经济节约表明一些工业流程无法充分发挥其需求侧管理潜力。对纸（废纸回收和纸浆制备）和氯来说，潜在的需求侧管理收益在 300 万到 900 万欧元（净额）之间。尽管纸（7,900 兆瓦）和氯（14,300 兆瓦）有较高的装机容量，但设定的最大 2 小时的转移持续期限限制了模拟工具中需求侧管理的使用。在进行行业访谈后，此数值被设为默认值。

这种技术限制表明这些行业应专注于更短的转移期（例如 15 分钟间隔），从而可能与其他潜在灵活性市场上拥有比现货市场更高的收入潜力（参见表 8）。这凸显了监管机构在设计市场时须将行业环境纳入考虑的需求。其他营销选择，例如平衡市场，其价格在短期内往往更具波动性，可能在更短的转移持续期内为行业创造需求侧管理的收益。这些市场并未包含在本模拟中。

尽管铝电解在转移持续期方面与纸和氯具有相同的技术限制，但相对较大的技术潜力意味着在 2035 年可以实现较高的需求侧管理节约，即 1.17 亿欧元（净额）。但是，延长转移持续期在很大程度上依赖于生产铝的基础技术，这也会大幅提高节约潜力。

具有更长转移持续期的工业流程，例如磨木浆和热磨机械浆精炼机、水泥磨泥和生料磨机，可能更顺利地利用其灵活性。在默认情景下，磨木浆和热磨机械浆精炼机能创造 5900 万欧元（净额）的收益。在 72 欧元/兆瓦时的平均电价下，这种收益意味着在 2035 年，需求侧管理在这种工业流程中可以节省大约 9%的电力开支<sup>7</sup>。

因为相对较低的总装机容量，纸业的潜在收益远低于水泥行业。在生料磨机和水泥磨机工艺中，情景实现了 7.48 亿到 21.94 亿欧元（净额）的收益。这些收益是通过负荷转移实现的，因此，不会发生任何生产损失。这些是净收益，所以落实及运行需求侧管理的潜在成本会拉低该收益。

模拟分析表明需求侧管理的使用可能为工业企业创造巨大的经济节约，也可能通过将用电需求转移到二氧化碳强度较低时期以及非峰值时间段，支持朝着可再生能源系统发展的转型。在默认情景中，作为需求侧管理一部分的负荷转移减少了 1950 万吨二氧化碳的温室气体排放量。

在模拟电力现货市场上可用需求侧管理的营销时，要参与这种需求侧管理营销选择，不同工业流程须满足的技术先决条件各有不同。尤其是，转移持续期较长的过程适合对现货价格的波动性做出回应。其他营销选择，例如平衡能量市场，其价格在短期内往往更具波动性，可能在更短的转移持续期内为行业创造收益。这些并未包含在本模拟中。

---

<sup>7</sup> 未采用需求侧管理的开支可以基于模拟工具中的假设以及以下公式计算：平均日前价格 [欧元/兆瓦时] \* 负荷容量 [兆瓦] \* (8760 \* 平均负荷系数 [%]) = 电力成本 [欧元]

尽管在模拟工具中落实了切负荷，但找出选定行业会考虑停止生产的价格也具有重要意义。切负荷是一个商业管理决定，不同企业会有不同的决定，因为必须将与消费者的商业关系和机会成本纳入考虑范围。因此，在模拟工具中设定了高价格，超过模拟情景中设定的峰值价格，结果没有从切负荷中发现任何收益。

能源效率的**能量、环境和经济节约潜力**直接遵从默认假设，其中最重要的是各自行业的可用改进潜力。因为具体的能源效率增益难以确定，所以默认情景只是示范性地总结了不同的假设。

因为能源效率目标和基准在不断调整，模拟工具提供了评估不同效率增益在选定行业内影响的机会。例如，在造纸行业，到 2035 年的能源效率增益被设定为 1%。这种效率增益节省了 810 吉瓦时的电力，从而带来了 1.46 亿欧元（净额）的节省。在能源部门会间接地节省 12.9 万吨二氧化碳。由此导致净经济节约量可被解读为上限，因为在实现该效率潜力时，并未考虑成本（主要源自于投资）。

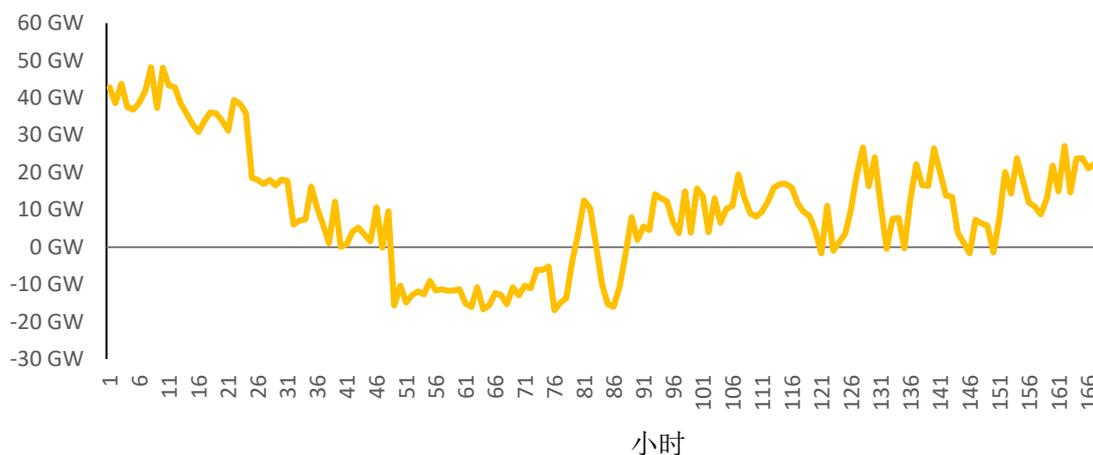
## 德国

图 19 展示了模拟工具针对德国进行模拟的主要结果。这些结果阐明了优先级、平均电力批发市场价格、电力的平均排放强度、2030 年潜在的需求侧管理节约以及能源效率的能量、环境（CO<sub>2</sub>）和经济节约。

图示的**优先排序**直接源自于设定的能源系统情景。可再生能源发电技术和传统发电技术的装机容量、排放价格、燃料价格、运输成本及其他可变发电成本直接影响了优先排序，因此也影响了电价。

图 18 展示了默认情景中使用的 2030 年典型周内的每小时剩余负荷。如章节 4.1 中的说明，剩余负荷是需求和可再生能源发电量之间的差值。与中国（图 16）相比，德国的负剩余负荷时间更长。正负峰值也更加平滑。这主要是因为与邻国进行电力交易、以低价出口电力以及以较高价格进口电力的能力。需求侧管理可能有助于解决电网堵塞，避免必须对市场上剩余电力进行其他方面的监管。

图 18：2030 年德国典型周内的每小时剩余负荷（默认情景）

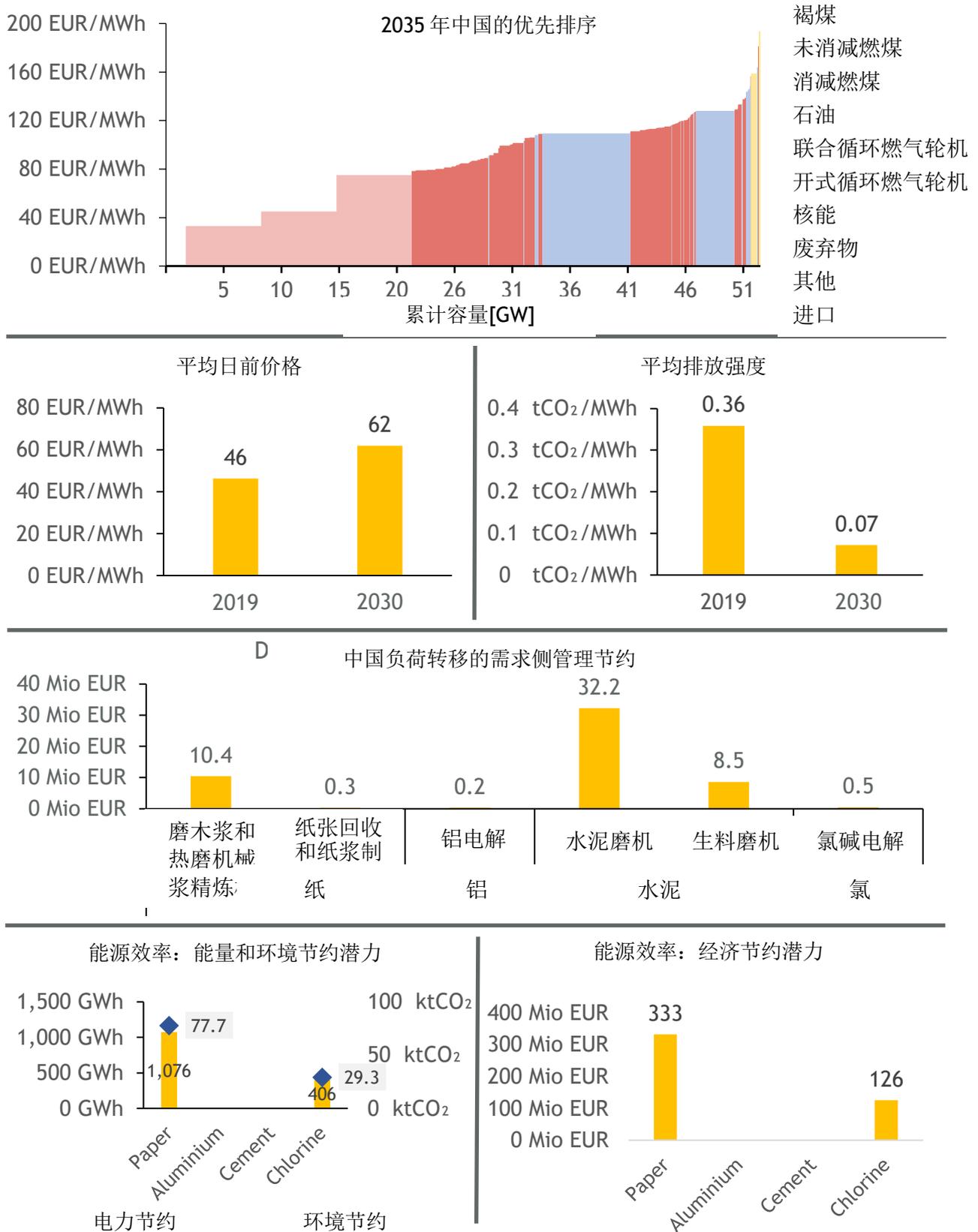


---

在德国的默认情景下，电力进口、开式循环燃气轮机和联合循环燃气轮机主导了优先排序，从大约 22 吉瓦到大约 52 吉瓦的累积负荷。可再生能源并不是优先排序的一部分，因为只有剩余负荷才必须通过边际成本大于零的传统电厂满足。假设可再生能源的边际成本为零。

使用优先排序、假定的用电需求和终端使用部门的负荷情况，计算得出 2030 年的**平均电价**，此外，还确定了发电的平均**排放强度**。尽管电价从 46 欧元/兆瓦时提高到 62 欧元/兆瓦时，但平均排放强度也从 0.36 吨二氧化碳/兆瓦时下降到 0.07 吨二氧化碳/兆瓦时。

图 19：模拟工具中 2030 年德国默认情景下的结果



---

多种因素造成了平均电价的提高：核能电厂和燃煤电厂的发电成本相对较低，但将在 2030 年之前逐步淘汰。此外，在 2030 年之前，二氧化碳价格预计会不断增长，从而推动天然气发电厂（联合循环燃气涡轮机和开式循环燃气轮机）边际成本的上升。平均排放强度之所以会下降，是因为可再生能源的大幅扩张以及天然气相对较低的二氧化碳排放系数低于煤炭和褐煤。此外，德国成为电力的净进口国。因为进口电力的排放并未包含在德国的排放平衡之中，所以在模拟工具中，只考虑德国的排放量。

2030 年的**潜在需求侧管理经济节约**表明一些工业流程无法充分发挥其需求侧管理潜力。对铝、纸（废纸回收和纸浆制备）和氯来说，潜在的需求侧管理收益在 20 万到 50 万欧元（净额）范围内。尽管纸（1,400 兆瓦）、铝（1,080 兆瓦）和氯（1,350 兆瓦）有最高的装机容量，但最大 2 个小时的转移持续期限限制了模拟工具中需求侧管理的使用。这种技术限制表明这些行业应专注于更短的转移期（例如 15 分钟间隔），从而可能与其他潜在灵活性市场上拥有比现货市场更高的收入潜力（参见表 8）。其他营销选择，例如平衡市场，其价格在短期内往往更具波动性，可能在更短的转移持续期内为行业创造需求侧管理的收益，这些并未包含在此模拟中。

与之相反，具有更长转移持续期的工业流程，例如磨木浆和热磨机械浆精炼机、水泥磨泥和生料磨机，可能更顺利地利用其灵活性。在默认情景下，这些过程创造了 1040 万到 3220 万欧元（净额）收益。采用磨木浆和热磨机械浆精炼机的企业如果能发挥自身可用的需求管理侧潜力，则其平均年电力费用可以节省 6%。<sup>8</sup>这些收益只是通过负荷转移实现，不会发生任何生产损失。

这些是净收益，所以落实及运行需求侧管理的潜在成本会拉低该收益。除了降低电力成本以外，使用需求侧管理也能通过将需求转移到排放强度较低的时期，促进电力部门二氧化碳排放量的下降。在默认情景下，作为需求侧管理一部分的负荷转移减少了 13.4 万吨二氧化碳的温室气体排放量。

模型表明，与中国相比，铝行业单位装机容量的需求侧管理节约量相对较低，这是基于一项基本假设——即相比中国，德国的生产能力是在较高的平均负荷系数下运行的，这大幅降低了在电价较低时期增加用电需求的潜力。

尽管在模拟工具中落实了切负荷，但找出选定行业会考虑停止生产的价格也具有重要意义。切负荷是一个商业管理决定，不同企业会有不同的决定，因为必须将与消费者的商业关系和机会成本纳入考虑范围。因此，在模拟工具中设定了高价格，超过模拟情景中设定的峰值价格。作为结果，我们没有从切负荷中发现任何收益。

能源效率的**能量、环境和经济节约潜力**直接遵从设定的假设，其中最重要的是工业流程中可用的能源效率改进潜力。在与工业企业的访谈中，讨论了基于 EWI（2021a）的能源效率潜力假设，并在必要时进行了调整。在德国的造纸和制氯行业中发现了巨大的改进潜力。造纸行业节省了 1,076 吉瓦时的电力，从而带来 3.33 亿欧元（净额）的成本节省。因为此行业的用电需求下降了，所以能源部门会间接节约 7.8 万吨二氧化碳。通过节省 406 吉瓦时的用电需求，制氯行业会节省约 1.26 亿欧元（净额）成本。在能源部门会间接地节省 2.9 万吨二氧化碳。

建模无法得出铝行业的任何能源效率提高量，与行业专家的访谈表明对于现如今的铝生产工艺，可能无需进行任何改进能源效率的追加投资，这基于新生产技术的持续发展和落实。

---

<sup>8</sup> 未采用需求侧管理的开支可以基于模拟工具中的假设以及以下公式计算：平均日前价格 [欧元/兆瓦时] \* 负荷容量 [兆瓦] \* (8760 \* 平均负荷系数 [%]) = 电力成本 [欧元]

---

工具的使用者可以调整相应的参数，以模拟 2030 年之前能源效率追加投资的影响。按照行业专家基于当前可用技术提出的建议，在 2030 年之前，水泥行业可能无法实现能源效率的进一步改进。

并未明确考虑中德两国未来电力市场的建模，以及需求侧管理和能源效率对所示变量的影响之间的相互依存关系。这种决定是基于与行业专家的访谈，专家建议这些影响在当前设置下没有任何实际意义。模拟工具允许在出现额外证据的情况下，阐明这些影响。

### **总结——中德两国潜力预测和对能源市场的影响**

模拟结果阐明了优先级、平均电力批发市场价格、电力平均排放强度、潜在的需求侧管理节约以及能源效率的能量、环境（CO<sub>2</sub>）和经济节约量。

在默认情景下，假设中德两国的技术条件具有可比性，可据此得到的结果可能适用于两个国家。

需求侧管理的最大潜力存在于水泥行业的水泥磨机和生料磨机中。技术性先决条件，尤其是较长的转移持续期，非常有利于需求侧管理在现货市场上的营销。

能源效率的结果并不均匀，取决于与行业相关的具体假设。模拟工具展示了各种节约在节约电力和间接二氧化碳减排方面可能带来的收益。

---

## 5 政策制定者的选择——鼓励能源效率和需求侧管理

德国和中国都力求成为气候中和或碳中和经济体，目标分别定为 2045 年和 2060 年。要实现这些目标，必须在维持所有消费者供应安全的同时，在供需两侧都完成巨大的转变。提高能源密集型工业流程中的能源效率和需求灵活性会对这些目标的实现做出重要贡献。

在时间上转移电力负荷作为需求侧管理的一部分，可能意味着工业流程在次优负荷水平上运行。需求侧管理可能对流程的能源效率造成负面影响，可能扭曲在此领域取得的进展。另一方面，提高工艺的能源效率可能降低绝对需求侧潜力，因为在时间上可以转移的电力较少。在单一工艺层面上，缺乏这种影响的实证证据。因此，我们没有明确地模拟这些影响。如果大规模部署了需求侧管理或者在能源效率方面取得了巨大改进，则可能发生影响。因此，在设计政策文件时，知悉这些潜在影响具有重要意义，在必要时，应将其纳入考虑范围并进行相应的监督。

本章基于各电力市场的监管现状，为政策制定者提供具体的建议和选择。所介绍的措施预计会降低电力系统的总成本，但并不是基于全面的福利分析。并未讨论分配影响。

### 5.1 中国的政策选择

需求侧管理和能源效率可能在实现中国的能源转型以及维持能源安全方面发挥重要作用。未来的电力系统需要整合灵活性措施，促成高度的能源效率。

#### 能源效率

如章节 4.3 中的介绍，能源效率可能对直接能源需求和间接二氧化碳排放产生积极影响。在 2035 年假定电力需求下，选定行业节能 1%，每年就会节省大约 10,000 吉瓦时以及近 80 万吨的二氧化碳排放量。对于当前发电厂构成下的能源系统，其影响甚至会导致更大的二氧化碳减排。

基于有效的行政管理方式，经济激励可能提供一种有效的方式，进一步推动电力密集型部门的工业能源效率。排污权交易制度涵盖了欧洲的电力部门，与此制度相关的早期经验表明该方案可能顺利实现能源效率目标。工业部门可能落实类似的基于强度的交易方案，创造改进能源效率的经济激励。另一个选择是通过有利于更高能效企业的税收，提高电价。

应该摒弃支持较低能效企业的本地补贴。这将增加为能源效率投资提供的激励，将生产从较低能效企业转移到较高能效企业，在不损失产量的前提下，降低总能源强度。这种价格信号可能得到专门计划以及公共来源的专项贷款的支持。

中国中央政府和省政府应该在政策制定者中推广支持工业能源效率相关专业技术和知识的计划 (GIZ, 2020)。例如，可以通过在（本地）政策和工业决策者之间开展信息宣传，提供支持。

---

## 需求侧管理

波动性可再生能源在中国电力系统中的占比不断提高，就必须通过灵活性选择平衡供需，从而维持能源安全性。为实现去碳化和能源安全目标，储能容量和自愿需求侧管理措施是有前途的选择。

工业需求侧管理有巨大潜力，且随着更多工业流程的电气化，这种潜力会进一步提升。中国的需求侧管理潜力依然在很大程度上有待开发，且并不存在允许大规模开展基于市场的需求侧管理的监管框架。

模拟工具的默认情景表明在选定的行业中，大约 39,400 吉瓦时的电力可以从高电价时间段转移到低电价时间段。高价格意味着传统发电所占比重可能较高，而低价格意味着可再生能源所占比重较高，因此需求侧管理可能提供保障供电的灵活性。

为实现此目标，必须消除各种监管障碍。监管框架应该允许激励需求侧管理的短期价格信号或者双边协议。为了成功实现国家目标，必须为地方层面的政策落实提供激励。

为了改进中国需求侧管理的监管框架，需要为需求侧管理的部署提供适当补偿。因此介绍如下不同选择：

- **选择 1：**通过一个开放的现货市场，以随时间变化的价差激励企业发挥其需求侧管理潜力，藉此实现需求侧管理潜力的有效分配。引进电力部门竞争领域的中国电力市场改革对建立需求侧管理细分市场具有重要意义。每小时（一小时内）市场和辅助服务市场等改革为基于市场的需求侧管理奠定了基础(IEA, 2021)。
- **选择 2：**实现细颗粒度实时市场的中间阶段可能增加为需求侧管理提供的基于价格的激励，往往比较容易落实。中国某些地区已经存在峰谷定价机制，一个有前途的选择就是提高该机制中的价格差异。这会将一个典型的生产日分为两种价格机制，通过价格反映供需的根本差异。该机制为工业企业提供了将生产转移到更有利的市场条件下的激励。

如果未来几年间无法通过基于市场的机制落实需求侧管理的适当补偿，在短期内，可选择通过行政措施尽可能高效地分配负荷转移，以弥补此缺口。另一种选择是建立有序的电力调度方式（优先排序）：

- **选择 3：**到目前为止，通过行政方式减少负荷给企业和中国经济造成了高昂的经济成本。为了减少这种成本，各省应计算出包含行业信息的优先排序，用于在电力短缺的情况下，协调有针对性的工业负荷转移与经济成本的缩减。监管机构应该引进优先排序调度类别，其中包含一项主要的能源消费者有序消费电力的战略，这种优先排序会提高流程的透明度和可预测性，可能增加为这种措施提供的支持。

## 进一步支持措施

中国需求侧管理面临的重大障碍之一是缺乏一个确保需求侧管理参与者得到充分补偿的框架，而信息缺口和财政缺口等其他挑战妨碍了工业需求侧管理潜力的发挥。

为了促进中国需求侧管理的应用以及对需求侧管理的投资，需要改善所有利益相关方的数据可用性和可及性，包括监管机构、工业企业以及电网运营商。必要的信息包括与可再生能源电力可用性相关的实时信息以及（在具有复杂市场的情况下）日内价格和日前价格等现货电力价格。此外，关于工业能源消费的信息也必不可少。一个功能完善的数据收集和数据共享系统是应用需求响应措

施以实现电力平衡的基础。此外，主管部门需要针对提供需求侧管理潜力的企业，创设一种认证、报告和监督机制。

在省级和地方层面，让主管部门、政策制定者和企业获得需求侧管理方面的额外技术诀窍和意识，可能有助于推广需求侧管理在所有中国省份和行业部门内的使用。国家政府可能通过技术支持倡议和资格确认计划，支持需求侧管理的推广。除了信息缺口以外，还应解决企业可能面对的财政风险。在投资成本构成一种障碍的情况下，为软件等必要的需求侧管理设备的投资提供支持，可能有助于释放工业需求侧管理的潜力。此报告聚焦于工业部门，为政策制定者提供改进工业需求侧管理和能源效率的选择。这些领域的进步可能会影响电力部门和其他电力消费者。增加需求侧管理的应用将有助于整合可再生能源容量和更高水平的能源效率，通过减少需求降低平均电价。

## 总结——中国的政策选择

### 能源效率

- 工业部门可能落实类似于排污权交易制度的基于强度的交易方案，创造改进能源效率的经济激励。
- 工业电价的上涨会刺激进一步的能源效率增益。
- 应该取消支持较低能效企业的本地补贴。
- 中国中央政府和省政府应该在政策制定者中推广支持工业能源效率相关专业技术和知识的计划。
- 必须遵守能源效率与需求侧管理之间可能存在的负相互依存性，应该考虑到为了达成目标而使用需求侧管理，可能造成效率的下降。

### 需求侧管理

- 电力市场的监管框架应该考虑短期价格信号或者双边协议，激励需求侧管理的应用。考虑到电力市场改革的不同阶段，推荐三种选择：

**选择 1：** 落实开放的现货市场，通过分时差价激励企业利用其需求侧管理潜力。

**选择 2：** 增大峰谷定价机制中的价格差异，为工业企业提供将生产转移到更有利的市场条件下的激励。

**选择 3：** 各省应计算出包含行业信息的优先排序，用于在电力短缺的情况下，协调有针对性的工业负荷转移与经济成本的缩减。

## 5.2 德国的政策选择

### 能源效率

德国的工业企业是全世界能效最高的。但其仍然存在巨大的改进潜力，政府可通过各种选择支持额外的投资。

除了各种现有的支持措施以外，德国政府可以出台目标更为远大的法规。尽管企业必须执行定期的能源审计，但企业没有义务实现已识别的节能潜力。通过改进的补贴计划，工业流程的能源效率可能提高。

进一步的措施可能要求每个新建的工业设施只能使用能效最高的技术。只有在例外情况下，与气候中和不兼容的设施（即无法配合可再生能源使用的设施）才可以获得补贴。

针对提高能源效率或者减少二氧化碳排放的投资，应该引进更短的折旧期，以缩短回报期（BMWK, 2021; dena, 2021a）。

## 需求侧管理

德国为工业需求侧管理设立了多种营销选择。但是仍然存在市场准入和监管障碍，仍有巨大的需求侧管理潜力有待开发。为了进一步促进工业需求侧管理潜力的发挥，德国监管机构可以消除剩余的市场障碍，建立稳定的监管框架，让利益相关者能够获得可预测性和规划保障。

模拟工具的默认情景表明在选定的行业中，大约 450 吉瓦时的电力可以从高电价时间段转移到低电价时间段。高价格意味着传统发电所占比重可能较高，而低价格意味着可再生能源所占比重较高，因此需求侧管理可以提供保障供电的灵活性。

尽管存在源自现货市场的需求侧管理价格信号，但电网费用的计算往往会扭曲这种信号。尽管市场价格表明了这种行动的积极系统价值，但峰值负荷时间窗口可能是对真实市场条件的不精确预测，且行业的需求侧管理可能带来 7,000 小时/年（《电网收费条例》条款 19.2）的处罚。修改这些规则，让电网费用更精确地反映实际市场和电网条件，是提高工业需求侧管理应用的一个有前途的选择。

严格的资格预审要求和对其他营销选择的严苛监管限制了工业需求侧管理的扩散。降低平衡市场的资格预审标准和《可中断负荷指令》应该增加活跃参与者的数量和可用需求侧管理容量，压低价格。即便从系统的角度来看，与消费表之间的计划外偏差可能产生收益，但它们在《可中断负荷指令》市场内可能遭到惩罚。监管框架应该允许服务于系统的偏差，以激励需求侧管理。

附加市场监管框架的频繁变动造成了企业营销机会的不确定性；知识匮乏和高信息成本经常会影响提供需求侧管理能力的意愿；信息宣传活动和额外的支持措施有助于克服知识缺口。

## 总结——德国的政策选择

### 能源效率

- 引进一项利用在能源审计中执行的节能潜力的义务。
- 在每一个新建工业设施中仅使用能效最高的技术的义务。
- 引进更短的能源效率投资折旧年限，以缩短回报期。

### 需求侧管理

- 修订《电网收费条例》条款 19.2，参考峰值负荷时间窗口和 7000 小时/年规则，让电网费用更精确地反映实际市场及电网条件。
- 严格的资格预审要求和对灵活性营销选择的严苛监管限制了工业需求侧管理的扩散。
- 落实宣传活动以及额外支持措施有助于降低信息成本，弥合知识缺口。

## 参考文献

能源市场集团(AG Energiebilanzen e. V.) (2021) 德意志联邦共和国 2019 年能源平衡. 参见: <https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/bilanzen-1990-bis-2020/> (访问日期: 2022 年 5 月 31 日).

Andrews-Speed, P. 和 Zhang, S. (2019) *中国是全球清洁能源冠军*. 帕尔格雷夫 (帕尔格雷夫亚洲和太平洋研究系列).

Ausfelder, F., Seitz, A. 和 von Roon, S. (2018) *基础产业的灵活性选择: 方法, 潜力, 障碍*. 参见: [https://dechema.de/dechema\\_media/Bilder/Publikationen/Buch\\_FLEXIBILITAETSOPTIONEN.pdf](https://dechema.de/dechema_media/Bilder/Publikationen/Buch_FLEXIBILITAETSOPTIONEN.pdf).

德国联邦经济与出口管制局 (BAFA) (2021) 联邦对经济中能源和资源效率的资助 - 赠款和贷款. 参见: [https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz\\_und\\_Prozesswaerme/energieeffizienz\\_und\\_prozesswaerme\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energieeffizienz_und_Prozesswaerme/energieeffizienz_und_prozesswaerme_node.html).

巴伐利亚州经济事务, 能源和技术部(2018) 巴伐利亚州旨在提供安全, 可负担和环保能源供应的能源计划. 参见: [https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user\\_upload/stmwi/publikationen/pdf/2018-06-20\\_Bayerisches\\_Energieprogramm\\_2018.pdf](https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/publikationen/pdf/2018-06-20_Bayerisches_Energieprogramm_2018.pdf).

德国联邦经济和能源部 (BMWi) (2019) 2050 年能源效率战略. 参见: [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12).

德国联邦经济和气候保护部 (BMWK) (2021) *2050 年能源效率路线图: AG Industrie*. 参见: [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/roadmap-2045-anlage\\_1\\_praesentation\\_3\\_sitzung\\_ag\\_industrieAnlage.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/roadmap-2045-anlage_1_praesentation_3_sitzung_ag_industrieAnlage.pdf?__blob=publicationFile&v=6) (访问日期: 2022 年 4 月 26 日).

英国石油企业(2021) 世界能源统计回顾 - 2021 年: 2020 年中国能源市场. 参见: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-china-insights.pdf>.

Brüggemann, A. (2018) 德国的能源效率如何? 德国复兴信贷银行研究. 参见: <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-englische-Dateien/Fokus-2018-EN/Focus-No.-213-July-2018-Energy-efficiency-Germany.pdf>.

联邦公报(2021) *联邦气候保护法第一修正案*. 参见: [https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text\\_0&tofc=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist\\_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node\\_id%3D%271033699%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1&sinst=ADB7822A](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/text.xav?SID=&tf=xaver.component.Text_0&tofc=&qmf=&hlf=xaver.component.Hitlist_0&bk=bgbl&start=%2F%2F%5B%40node_id%3D%271033699%27%5D&skin=pdf&tlevel=-2&nohist=1&sinst=ADB7822A).

联邦能效办公室(BfEE) (2018) 能源效率政策研究 - 能源效率的政策问题和对"国家能源效率行动计划"实施的科学监测, 特别考虑到电力消费的发展和措施.

中国电力企业联合会(2021) 2021 年上半年中国电力供需形势分析与预测. 参见: <https://english.cec.org.cn/detail/index.html?3-1336>.

德国能源署 (dena) (2021a) *德国能源署领先研究: 气候中立的曙光*. 参见: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht\\_dena-Leitstudie\\_Aufbruch\\_Klimaneutralitaet.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf) (访问日期: 2022 年 4 月 26 日).

德国能源署 (dena) (2021b) *土耳其和德国电网灵活性*. 参见: [https://www.energypartnership-turkey.org/fileadmin/user\\_upload/turkey/media\\_elements/Flexibility\\_for\\_the\\_Turkish\\_and\\_German\\_Electricity\\_Grids\\_final.pdf](https://www.energypartnership-turkey.org/fileadmin/user_upload/turkey/media_elements/Flexibility_for_the_Turkish_and_German_Electricity_Grids_final.pdf) (访问日期: 2022 年 5 月 31 日).

德国能源署 (dena) (2021c) 德国电力系统的灵活性技术及措施. 参见: [https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user\\_upload/china/media\\_elements/Flexibility\\_Technologies\\_and\\_Measures\\_in\\_the\\_German\\_Power\\_System.pdf](https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/Flexibility_Technologies_and_Measures_in_the_German_Power_System.pdf) (访问日期: 2022 年 2 月 10 日).

Ecofys 企业(2016) *效率灵活性: 在工业消费者中整合效率和灵活性的概念*. 阿哥拉 (Agora) 能源转型论坛. 参见: [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Flex-Efficiency/Agora\\_Flex-Efficiency\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Flex-Efficiency/Agora_Flex-Efficiency_WEB.pdf).

法国能源统计所 (Enerdata) (2021) 2021 年能源统计年鉴. 参见: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html>.

国家发展和改革委员会能源研究所(2020) 京津冀和德国电力系统灵活性定量比较研究. 参见: [https://www.energie-wende-global.com/fileadmin/user\\_upload/giz-website/Media\\_Library/Erneuerbare\\_Energien/Power\\_System\\_Flexibility\\_in\\_Jingjinji\\_and\\_Germany.pdf](https://www.energie-wende-global.com/fileadmin/user_upload/giz-website/Media_Library/Erneuerbare_Energien/Power_System_Flexibility_in_Jingjinji_and_Germany.pdf).

欧洲委员会(2021) 委员会关于能源效率第一的建议: 从原则到实践. 在能源部门和其他部门的决策中实施该建议的准则和实例. 参见: [https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-09/eef\\_recommendation\\_ref\\_tbc.pdf](https://energy.ec.europa.eu/system/files/2021-09/eef_recommendation_ref_tbc.pdf).

科隆大学能源经济研究所 (EWI) (2021a) 德国能源署牵头研究气候中和的曙光: 气候中和 2045 - 消费部门和能源系统的转型. 德国能源署. 参见: [https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/10/211005\\_EWI-Gutachterbericht\\_dena-Leitstudie-Aufbruch-Klimaneutralitaet.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2021/10/211005_EWI-Gutachterbericht_dena-Leitstudie-Aufbruch-Klimaneutralitaet.pdf).

科隆大学能源经济研究所(2021b) 能源经济研究所分析 - 2030 年联合协议对电力部门的影响, 第 17 页.

Fichter, T. 和 Creutzburg, P. (2019) 工业领域的能源转型. 潜力和与能源部门的相互作用. 基础化学的灵活性概况, 第 13 页.

Fleiter, T. 等人(2012) 德国纸浆和造纸业的能源效率 - 基于模型的节约潜力评估, *能源*, 40, 第 84-99 页. doi:10.1016/j.energy.2012.02.025.

德国能源经济研究所(FfE) (2022) 区域负荷管理的潜力. 量化德国现有和未来负荷管理潜力. 参见: <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/signifikante-lastmanagementpotenziale-in-deutschland-bis-2045/>.

Geres, R. 等人(2019) 通往德国温室气体中性化学工业 2050 年路线图: 德国德西玛 (DECHEMA) - 化工与生物技术协会和 FutureCamp 企业针对植被状态指数 (VCI) 所作的研究. 参见: <https://edocs.tib.eu/files/e01fn19/1682254917.pdf> (访问日期: 2022 年 4 月 19 日).

德国国际合作机构 (GIZ) (2020) 2020 年中国能源转型现状报告. 中德能源转型项目.

德国国际合作机构(2021a) 2021 年中国能源转型现状报告. 中德能源转型项目. 参见: [https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user\\_upload/china/media\\_elements/publications/2021/China\\_Energy\\_Transition\\_Status\\_Report\\_2021.pdf](https://www.energypartnership.cn/fileadmin/user_upload/china/media_elements/publications/2021/China_Energy_Transition_Status_Report_2021.pdf).

德国国际合作机构(2021b) 主要能源消耗部门的能源效率技术指南: 纸浆和造纸业的能源效率. 中德工业能效示范项目.

Godin, H. (2019) 工业领域的能源转型. 潜力和与能源部门的相互作用. 造纸业的灵活性概况, 第 10 页.

Gruber, A., von Roon, S. 和 Fattler, S. (2016) 为供给侧管理巴伐利亚项目提供科学项目支持. 德国能源经济研究所(FfE).

Guminski, A., Hübner, T. 和 von Roon, S. (2019) 工业领域的能源转型. 潜力和与能源部门的相互作用. 有色金属工业的灵活性概况, 第 16 页.

Haraldsson, J. 和 Johansson, M. (2018) 铝业生产相关流程中提高能源效率的措施述评 - 从电解到回收, *可再生与可持续能源评论*, 93, 第 525-548 页. doi:10.1016/j.rser.2018.05.043.

Huang, Y.-H. 和 Wu, J.-H. (2021) 自下而上分析水泥行业在能源转型中提高能效和减少二氧化碳排放的潜力: 扩展边际减排成本曲线的应用, *清洁生产杂志*, 296, 第 126619 页. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126619.

Hübner, T. 等人 (2019) 工业领域的能源转型. 潜力和与能源部门的相互作用. 水泥行业的灵活性概况, 第 11 页.

高级可持续发展研究所 (IASS) (2015) 长期气候目标: 去碳化, 碳中和及气候中和. 高级可持续发展研究所. 参见: [https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/policy\\_brief\\_decarbonisation.pdf](https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/policy_brief_decarbonisation.pdf).

国际能源署 (IEA) (2019) 中国电力系统转型: 评估优化操作和先进灵活性选项的益处. 参见: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/fd886bb9-27d8-4d5d-a03f-38cb34b77ed7/China\\_Power\\_System\\_Transformation.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/fd886bb9-27d8-4d5d-a03f-38cb34b77ed7/China_Power_System_Transformation.pdf).

国际能源署(2021) 中国能源行业实现碳中和的路线图. 参见: <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china>.

能源效率网络倡议(2019) 能源效率网络的实用指南. 参见: [https://www.effizienznetzwerke.org/app/uploads/2017/11/IEEN\\_Praxis-Leitfaden\\_2019.pdf](https://www.effizienznetzwerke.org/app/uploads/2017/11/IEEN_Praxis-Leitfaden_2019.pdf).

国际能源宪章(2018) *中国能源效率报告: 能源效率和环境问题的议定书*. 布鲁塞尔: 能源宪章秘书处.

能源和交通研究所联合研究中心(2016) *欧盟成员国需求响应状况*. 出版物办公室. 参见: <https://data.europa.eu/doi/10.2790/354290>.

Khalid, H., Amin, F.R. 和 Chen, C. (2018) 比较亚太地区需求侧管理 (DSM) 实施的现状和挑战: 中国电力部门的案例研究, *能源程序*, 152, 第 101-108 页. doi:10.1016/j.egypro.2018.09.066.

Kong, L. 等人(2017) 中国纸浆和造纸业的节能和二氧化碳减排潜力, *资源 保护和回收*, 117, 第 74-84 页. doi:10.1016/j.resconrec.2015.05.001.

Kube, M. 等人(2017) 与工业能源效率高度相关的市场可用创新, 德国联邦经济和能源部 (BMWi). 参见: [https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/marktverfuegbare-innovationen-mit-hoher-relevanz-fuer-energieeffizienz-in-der-industrie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=18](https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/marktverfuegbare-innovationen-mit-hoher-relevanz-fuer-energieeffizienz-in-der-industrie.pdf?__blob=publicationFile&v=18).

Meidan, M. 和 Andrew-Speed, P. (2021) 中国的电力危机: 长期目标遇到短期现实. 牛津能源研究所 (OIES). 参见: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2021/11/Chinas-power-crisis.pdf>.

中国国家统计局(2019) *中国统计年鉴 2019*. 参见: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm> (访问日期: 2022 年 4 月 26 日).

中国国家统计局(2020) *中国统计年鉴 2020*. 参见: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexeh.htm>.

中国国家统计局(2021) *中国统计年鉴 2021*. 参见: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2021/indexeh.htm> (访问日期: 2022 年 5 月 31 日).

Nie, P., Wang, C. 和 Chen, Y. (2018) 中国的顶级选手项目: 潜在补贴的理论分析, *能源战略评论*, 21, 第 157-162 页. doi:10.1016/j.esr.2018.06.006.

Paschotta, D.R. (2022) *卡诺效率*. 参见: [https://www.energie-lexikon.info/carnot\\_wirkungsgrad.html](https://www.energie-lexikon.info/carnot_wirkungsgrad.html) (访问日期: 2022 年 4 月 7 日).

Pehnt, M. 等人(2011) 能源效率: 国家气候行动倡议的潜力, 经济效应和创新行动领域及资金: 关于"气候倡议国家部分的总体技术, 生态, 经济和战略方面的科学配套研究" 项目的简短摘要.

Price, L., Hasanbeigi, A. 和 Lu, H. (2009) 中国山东省水泥行业的能效机会分析: 16 家水泥厂案例研究. 参见: <https://www.osti.gov/servlets/purl/974444> (访问日期: 2022 年 4 月 15 日).

Sandalow, D. (2019) 2019 年中国气候政策指南. 参见: [https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/Guide%20to%20Chinese%20Climate%20Policy\\_2019.pdf](https://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/file-uploads/Guide%20to%20Chinese%20Climate%20Policy_2019.pdf).

Schenuit, C. 和 Vogel, L. (2018) 通过智能用电赚钱: 需求侧管理 (DSM): 德国的介绍和实践经验. 德国能源署.

Seidl, H., Schenuit, C. 和 Teichmann, M. (2016a) 需求侧管理路线图: 可持续能源系统的工业负荷管理. 德国能源署.

Seidl, H., Schenuit, C. 和 Teichmann, M. (2016b) 需求侧管理路线图. 用于可持续能源系统的工业负荷管理. 需求侧管理巴伐利亚试点项目的结论. 参见: [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9146\\_Studie\\_Roadmap\\_Demand\\_Side\\_Management..pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9146_Studie_Roadmap_Demand_Side_Management..pdf).

社会民主党, 90 联盟-绿党和自由民主党(2021)*敢于创造更大进步 - 自由, 正义和可持续发展联盟. 社会民主党 (SPD), 90 联盟 - 绿党和自由民主党 (FDP) 的 2021-2025 年联盟协议*. 参见: [https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag\\_2021-2025.pdf](https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf) (访问日期: 2022 年 4 月 13 日).

---

Stavenhagen, P. (2017) 德国和法国的可变负载. 德国-法国能源转型办公室. 参见: <https://energie-fr-de.eu/de/systeme-maerkte/nachrichten/leser/hintergrundpapier-regelbare-lasten-in-deutschland-und-frankreich.html>.

Stern, F. (2015) 中国的需求响应. 市场和积极参与者的战略定位. 安元易如. 参见: [https://web.archive.org/web/20220120125356/https://www.azure-international.com/images/stories/azure/publications/pdf/DEMAND-RESPONSE-IN-CHINA\\_The-Market-Strategic-Positioning-of-Active-Players\\_2015\\_Azure-International\\_FS.pdf](https://web.archive.org/web/20220120125356/https://www.azure-international.com/images/stories/azure/publications/pdf/DEMAND-RESPONSE-IN-CHINA_The-Market-Strategic-Positioning-of-Active-Players_2015_Azure-International_FS.pdf).

Steurer, M. (2017) 高效环保的能源供应需求方整合分析.

联合国气候变化框架公约 (ed.) (2021) 中国对国家自主贡献的成就, 新目标和新措施 (非正式译本). 参见: <https://www4.unfccc.int/sites/NDCStaging/pages/Party.aspx?party=CHN>.

Valdes, J. 等人 (2019) 工业, 灵活性和需求响应: 在智利应用德国能源转型的经验, *能源研究与社会科学*, 54, 第 12–25 页. doi:10.1016/j.erss.2019.03.003.

Viota, T. (2018) 中国能源效率政策的力量. 法国国际关系研究所研究. 参见: [https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/voita\\_power\\_china\\_2018.pdf](https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/voita_power_china_2018.pdf).

Vogel, L., Schenuit, C. 和 Jian, L. (2019) 中国的工业需求侧灵活性: 德国经验 - 中国的现状和潜力 - 政策和市场建议. 德国能源署.

世界银行集团(2021) *中国: 能源效率发展 40 年的经验: 政策, 成就和经验*. 华盛顿特区. 参见: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/36667/China-40-Year-Experience-in-Energy-Efficiency-Development-Policies-Achievements-and-Lessons-Learned.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Zhang, S., Jiao, Y. 和 Chen, W. (2017) 中国正在进行的电力部门改革背景下的需求侧管理, *能源政策*, 100, 第 1–8 页. doi:10.1016/j.enpol.2016.09.057.

Zhu, X., Bai, Q. 和 Zhang, X. (2017) *中国能源效率方面的良好做法和成功案例*. 参见: <https://c2e2.unepdtu.org/wp-content/uploads/sites/3/2017/06/good-practice-and-success-stories-on-ee-in-china.pdf>.

## 缩略语表

AbLaV	Interruptible Loads Ordinance (in German "Verordnung zu abschaltbaren Lasten")	可中断负荷条例 (德语: Verordnung zu abschaltbaren Lasten)
BAFA	Federal Office of Economics and Export Control (in German <i>Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle</i> )	联邦经济与出口管制局 (德语: <i>Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle</i> )
BAT	Best available techniques	最佳可行技术
BEV	Battery Electric Vehicle	电池电动车/纯电动车
BMWi	Federal Ministry of Economics and Energy (in German <i>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz</i> )	联邦经济和能源部 (德语: <i>Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz</i> )
dena	German Energy Agency (in German <i>Deutsche Energie-Agentur</i> )	德国能源署 (德语: <i>Deutsche Energie-Agentur</i> )
DSM	Demand Side Management	需求侧管理
EBGL	European Electricity Balancing Guideline	欧洲电力平衡指南
EDL-G	Energy Services Act (in German <i>Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen</i> )	能源服务法 (德语: <i>Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen</i> )
EED	European Energy efficiency Directive	欧洲能源效率指令
EEX	European Energy Exchange	欧洲能源交易所
EnWG	Energy Industry Act (in German <i>Energiewirtschaftsgesetz</i> )	能源工业法 (德语: <i>Energiewirtschaftsgesetz</i> )
ESCO	Energy Service Company	能源 (节能) 服务企业
EVPG	Energy Consumption Relevant Products Act (in German <i>Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz</i> )	能耗产品法 (德语: <i>Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz</i> )

EWI	Institute of Energy Economics at the University of Cologne (in German <i>Institut für Energiewirtschaft an der Universität zu Köln</i> )	科隆大学能源经济研究所（德语： <i>Institut für Energiewirtschaft an der Universität zu Köln</i> ）
FDP	Free Democratic Party of Germany	德国自由民主党
FYP	Five Year Plan	五年计划
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
GHG	Green House Gases	温室气体
GIZ	German Corporation for International Cooperation (in German <i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> )	德国国际合作机构（德语： <i>Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> ）
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies (Germany)	高等可持续发展研究所（德国）
IEA	International Energy Agency	国际能源署
KfW	Reconstruction Credit Institute (in German <i>Kreditanstalt für Wiederaufbau</i> )	德国复兴信贷银行（德语： <i>Kreditanstalt für Wiederaufbau</i> ）
MEE	Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China	中华人民共和国生态环境部
MIIT	Ministry of Industry and Information Technology (China)	工业和信息化部（中国）
NAPE	National Action Plan Energy Efficiency (in German <i>Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz</i> )	国家能效行动计划（德语： <i>Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz</i> ）
NDC	Nationally Determined Contributions	国家自主贡献
NDRC	National Development and Reform Commission (China)	国家发展和改革委员会（中国）
NEA	National Energy Administration (China)	国家能源局（中国）
OIES	Oxford Institute for Energy Studies	牛津能源研究所
RAM	Balancing power market (in German <i>Regelarbeitsmarkt</i> )	电力平衡市场（德语： <i>Regelarbeitsmarkt</i> ）
RES	Renewable Energy Sources	可再生能源

RLM	Control power market (in German <i>Regelleistungsmarkt</i> )	控制电力市场（德语： <i>Regelleistungsmarkt</i> ）
SAMR	The State Administration for Market Supervision (China)	国家市场监督管理总局（中国）
SPD	Social Democratic Party of Germany (in German <i>Sozialdemokratische Partei Deutschlands</i> )	德国社会民主党（德语： <i>Sozialdemokratische Partei Deutschlands</i> ）
StromNEV	Electricity Network Charges Ordinance (in German <i>Stromnetzentgelt-verordnung</i> )	电网收费条例（德语： <i>Stromnetzentgelt-verordnung</i> ）
TCE	Tons of coal equivalent	吨煤当量
TMP	Thermomechanical pulp	热磨机械浆
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	联合国气候变化框架公约

## 图片列表

图 1: 潜力的类型——与能源效率及需求侧管理相关.....	6
图 2: 2020 年中国一次能源消费的能源比重以及 2030 年目标.....	11
图 3: 中国 2010 年-2020 年风电及太阳能发电装机容量以及 2030 年的目标 .....	11
图 4: 德国温室气体排放和国家气候目标.....	16
图 5: 德国 2010 年-2020 年风电及太阳能发电装机容量及 2030 年目标.....	17
图 6: 能源效率和需求侧管理工具的主要理念 .....	244
图 7: 剩余负荷（顶部）和标准优先排序（底部）示例图 .....	255
图 8: 灵活性评估示例 .....	266
图 9: 峰值价格方法图示.....	266
图 10: 负价格方法图示.....	277
图 11: 负荷转移示例图.....	288
图 12: 中国的装机发电容量 .....	29
图 13: 中国工业生产量（上表）和需求侧管理过程的预计装机容量（下表） .....	300
图 14: 德国的装机发电容量 .....	311
图 15: 德国工业生产量（上表）和需求侧管理过程的预计装机容量（下表） .....	322
图 16: 2035 年中国典型周内的每小时剩余负荷（默认情景） .....	333
图 17: 模拟工具中 2035 年中国默认情景下的结果.....	344
图 18: 2030 年德国典型周内的每小时剩余负荷（默认情景） .....	366
图 19: 模拟工具中 2030 年德国默认情景下的结果.....	388
图 20: 基本设置——默认方案情景.....	57
图 21: 专家设置——默认情景.....	58
图 22: 需求侧管理设置——默认情景.....	60
图 23: 能源效率设置——默认情景.....	61

---

## 表格列表

表 1: 重点行业及其能源效率和需求侧管理研究焦点一览表 .....	5
表 2: 电力系统的灵活性选择 .....	7
表 3: 中国五年规划中的国家能源强度目标 .....	12
表 4: 与工业能源效率相关的战略 .....	13
表 5: 中国推广需求侧管理的国家措施和计划 .....	14
表 6: 欧盟的能源效率立法 .....	18
表 7: 建立及监管需求侧管理的德国法规 .....	19
表 8: 工业需求侧管理潜力市场 .....	200
表 9: 有发展前途的能效措施一览表 (不完整列表) .....	544
表 10: 需求侧管理与能源效率间的相互依存关系 .....	555
表 11: 访谈一览表 .....	566

## 附录

### 有发展前途的能效措施一览表（非结论性）

表 9：有发展前途的能效措施一览表（不完整列表）

行业	措施	效率提升潜力 [低-高]	参考来源
铝	阴极改进（石墨化或新型纳米曲面碳素阴极）	中等	Haraldsson 和 Johansson (2018)
铝	阳极改进（使用开槽、穿孔或惰性阳极）	中等偏上	Haraldsson 和 Johansson (2018)
铝	电解性能改进（抑制阳极效应，在几个阶段添加氧化铝等）	中等偏上	Haraldsson 和 Johansson (2018)
铝	用于短距离运输：熔融铝的输送	低	Haraldsson 和 Johansson (2018)
铝	垂直电极电池	高	Haraldsson 和 Johansson (2018)
铝	低温分析	高	Haraldsson 和 Johansson (2018)
水泥	代表性技术（变速驱动器、高效电机等）	低 - 中	Price, Hasanbeigi 和 Lu (2009); Huang 和 Wu (2021)
水泥	高压辊压机和球磨机的预磨或用立式辊磨机代替球磨机（措施取决于磨机年龄）	高	Price, Hasanbeigi 和 Lu, (2009)
水泥	使用高性能辊磨机进行原料研磨	高	Price, Hasanbeigi 和 Lu (2009); Huang 和 Wu (2021)
水泥	使用高性能分类器/分离器	低 - 中	Price, Hasanbeigi 和 Lu (2009); Huang 和 Wu (2021)
氯	切换到使用氧去极化阴极 (ODC) 的工艺。  <i>注：与传统膜工艺相比，不产生副产氢。因此，在氢气被用于后续应用的情况下，必须调整能效提升潜力。</i>	高	Geres 等人(2019)

氯	使用更有效的代表性技术	高	Geres 等人(2019)
氯	氯碱电解工艺效率增量持续提升	低	Geres 等人(2019)
纸	高效精炼机：使用更灵活的精炼机可以最大限度地减少转为批量生产时的空转损失	中等	Fleiter 等人(2012); GIZ (2021b)
纸	代表性技术（泵、灯、电机等）	高	Kong 等人(2017)
纸	磨床：金属改性的磨削表面——而非陶瓷或石材表面——可提升效率	低	Fleiter 等人(2012)

### 能源效率和需求侧管理间的相互依存关系

Gruber、von Roon 和 Fattler (2016)在其研究中，分析了不同的生产流程和生产状态，并据此模拟了不同负载状态的负载增长和减少情况。<sup>9</sup>该分析区分了以下两种情况：

- 提供正的负载潜力。在生产时间，保持最佳负载，如果需要，生产切换到部分负载以提供负负载。
- 提供负的负载潜力。如果最佳负载低于 100%，则维持最佳负载，并增加产量以提供正负载。

表 10 显示了其对铝电解和氯碱电解的分析结果。对于热磨机械浆（TMP）精炼厂和水泥厂，没有发现需求侧管理对能源效率能产生任何影响。

作者们指出，低于 1% 的变化是可以忽略不计的，因为测量仪器的精度已经低于效率偏差。

表 10：需求侧管理与能源效率间的相互依存关系

工艺	维持时间*	灵活性要求 (100 / 1,000 小时/年)	
		正	负
铝电解	6,000 小时/年	-0.5% / -5%	-0.05% / -0.5%
氯碱电解	7,000 小时/年	+0.06% / +0.6%	-0.05% / -0.5%

\* 假设维持时间等于年生产时间。

资料来源：Gruber 等人 (2016)

<sup>9</sup>对于铝电解，做了以下假设：7,000 满负荷小时，最佳负荷 =100%，部分负荷 =75%，将弥补生产不足（负荷为 100%），灵活性需求为 100-1,000 小时/年。

## 作为研究的一部分所进行的访谈情况

表 11：访谈一览表

序号	范围	主题	访谈合作伙伴
01	铝业	需求侧管理和能源效率的当前和未来潜力； 监管框架	企业
02	总体概述	在中国推广需求侧管理和能源效率；监管框 架	研究
03	总体概述	在中国推广需求侧管理和能源效率；监管框 架	研究
04	总体概述	在德国推广需求侧管理和能源效率；监管框 架	研究
05	氯产业	需求侧管理和能源效率的当前和未来潜力； 监管框架	企业
06	氯产业	需求侧管理和能源效率的当前和未来潜力； 监管框架	企业
07	总体概述	在中国推广需求侧管理和能源效率；监管框 架	研究
08	水泥业	需求侧管理和能源效率的当前和未来潜力； 监管框架	企业
09	造纸业	需求侧管理和能源效率的当前和未来潜力； 监管框架	企业

## 模拟工具在默认景下的基本设置

图 20：基本设置——默认方案情景

	德国				中国			
<b>可再生能源</b>								
	电厂类型	2019	2030	单位	电厂类型	2019	2035	单位
	生物质	8	8	GWel	生物质	20	144	GWel
	Water Reservoir	5	5	GWel	Water Reservoir	361	418	GWel
	Water RoR	0	0	GWel	Water RoR	1	1	GWel
	Wind Offshore	6	30	GWel	Wind Offshore	34	71	GWel
	Wind Onshore	53	94	GWel	Wind Onshore	200	850	GWel
	PV	46	200	GWel	PV	208	1,478	GWel
	其他	0	0	GWel	其他	0	0	GWel
<b>传统电厂</b>								
	Plant Type	2019	2030	Unit	Plant Type	2019	2035	Unit
	褐煤	21	0	GWel	褐煤	0	0	GWel
	未采用碳捕获技术	25	0	GWel	未采用碳捕获技术	1,028	457	GWel
	采用碳捕获技术	0	0	GWel	采用碳捕获技术	0	701	GWel
	CCGT	22	19	GWel	CCGT	50	40	GWel
	OCGT	10	13	GWel	OCGT	59	43	GWel
	石油发电	3	0	GWel	石油发电	8	3	GWel
	核电	10	0	GWel	核电	54	117	GWel
	垃圾发电	2	2	GWel	垃圾发电	0	0	GWel
	其他	7	2	GWel	其他	0	0	GWel
<b>排放价格</b>								
		2019	2030	Unit		2019	2035	Unit
	Price	190.71	732.31	CNY/tCO2	Price	29.60	359	CNY/tCO2
<b>电力需求</b>								
		2019	2030	Unit		2019	2035	Unit
	需求	567	698	TWhel	需求	7,150	10,500	TWhel
<b>储能</b>								
	技术	动力	尺寸	单位	技术	动力	尺寸	单位
	短期储能	10	40	GW, GWh	短期	15	90	GW, GWh

## 模拟工具在默认情景下的专家设置

图 21：专家设置——默认情景

	德国				中国			
<b>燃料价格</b>								
	燃料类型	2019	2030	单位	燃料类型	2019	2035	单位
	褐煤	23.65	23.65	CNY/MWth	褐煤	23.65	23.65	CNY/MWth
	硬煤	86.05	73.15	CNY/MWth	硬煤	95.28	85.36	CNY/MWth
	天然气	173.16	200.09	CNY/MWth	天然气	187.27	261.65	CNY/MWth
	石油发电	251.12	371.26	CNY/MWth	石油发电	224.73	385.83	CNY/MWth
	核电	41.96	41.96	CNY/MWth	核电	41.96	41.96	CNY/MWth
	垃圾发电	0.00	0.00	CNY/MWth	垃圾发电	0.00	0.00	CNY/MWth
	其他	251.12	251.12	CNY/MWth	其他	251.12	251.12	CNY/MWth
<b>运输费用</b>								
	Plant Type	2019	2030	Unit	Plant Type	2019	2035	Unit
	褐煤	0.00	0.00	CNY/MWth	褐煤	0.00	0.00	CNY/MWth
	硬煤	9.54	9.54	CNY/MWth	硬煤	9.54	9.54	CNY/MWth
	天然气	3.81	3.81	CNY/MWth	天然气	3.81	3.81	CNY/MWth
	石油发电	2.29	2.29	CNY/MWth	石油发电	2.29	2.29	CNY/MWth
	核电	0.00	0.00	CNY/MWth	核电	0.00	0.00	CNY/MWth
	垃圾发电	0.00	0.00	CNY/MWth	垃圾发电	0.00	0.00	CNY/MWth
	其他	0.00	0.00	CNY/MWth	其他	0.00	0.00	CNY/MWth
<b>其他可变成本</b>								
	Plant Type	2019	2030	Unit	Plant Type	2019	2035	Unit
	褐煤	12.97	12.97	CNY/MWheI	褐煤	12.97	12.97	CNY/MWheI
	未采用碳捕获技术	9.92	9.92	CNY/MWheI	未采用碳捕获技术	9.92	9.92	CNY/MWheI
	采用碳捕获技术	9.92	9.92	CNY/MWheI	采用碳捕获技术	330.53	457.69	CNY/MWheI
	CCGT	11.44	11.44	CNY/MWheI	CCGT	11.44	11.44	CNY/MWheI
	OCGT	7.63	7.63	CNY/MWheI	OCGT	7.63	7.63	CNY/MWheI
	石油发电	7.63	7.63	CNY/MWheI	石油发电	7.63	7.63	CNY/MWheI
	核电	9.15	9.15	CNY/MWheI	核电	9.15	9.15	CNY/MWheI
	垃圾发电	7.63	7.63	CNY/MWheI	垃圾发电	7.63	7.63	CNY/MWheI
	其他	7.63	7.63	CNY/MWheI	其他	7.63	7.63	CNY/MWheI
<b>排放水平</b>								
	Plant Type	2019	2030	Unit	Plant Type	2019	2035	Unit
	核电	0.00	0.00	tCO2/MWth	核电	0.00	0.00	tCO2/MWth
	褐煤	0.40	0.38	tCO2/MWth	褐煤	0.42	0.40	tCO2/MWth
	硬煤	0.34	0.32	tCO2/MWth	硬煤	0.36	0.34	tCO2/MWth
	天然气	0.20	0.19	tCO2/MWth	天然气	0.21	0.20	tCO2/MWth
	石油发电	0.28	0.27	tCO2/MWth	石油发电	0.29	0.28	tCO2/MWth
	垃圾发电	0.00	0.00	tCO2/MWth	垃圾发电	0.00	0.00	tCO2/MWth
	其他	0.21	0.20	tCO2/MWth	其他	0.22	0.21	tCO2/MWth

## 停电

Plant Type	Rate	Unit
褐煤	7.0	%
未采用碳捕获技术	7.0	%
采用碳捕获技术	7.0	%
CCGT	6.0	%
OCGT	5.0	%
石油发电	7.0	%
核电	9.0	%
垃圾发电	5.0	%
其他	5.0	%

Plant Type	Rate	Unit
褐煤	8.0	%
未采用碳捕获技术	8.0	%
采用碳捕获技术	8.0	%
CCGT	7.0	%
OCGT	6.0	%
石油发电	8.0	%
核电	10.0	%
垃圾发电	6.0	%
其他	6.0	%

## 价格调整

	2019	2030	Unit
Minimal Price	-458	-153	CNY
Maximal Price	725	1,678	CNY
Peaker Hours	1,200	450	#h

	2019	2035	Unit
Minimal Price	-	0	CNY
Maximal Price	-	1,144	CNY
Peaker Hours	-	0	#h

## 市场溢价

	2019	2030	Unit
Premium paid?	-	no	GWh

## 进口能力

	2019	2030	Unit
Import	-	20	GW

	2019	2035	Unit
Import	0	25	GW

## 模拟工具在默认情景下的需求侧管理设置

图 22：需求侧管理设置——默认情景

Inputs GER							
Sector	Groundwood & TMP refiner	Paper recycling & Pulp preparation	Aluminium electrolysis	Cement mill	Raw mill	Chlor-alkali electrolysis	单位
Shift Duration	5	2	2	12	7	2	[h]
Applied number of Shifts p.a.	730	50	91	365	365	100	[#]
Feasibility factor [%]	50	50	100	100	100	50	[%]
Loadfactor max.	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	[%]
Loadfactor avg.	0.73	0.85	0.97	0.65	0.78	0.87	[%]
Loadfactor min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	[%]
负荷转移增量	0.73	0.10	0.03	2.60	1.10	0.08	[Flh]
小时数	1	1	1	4	2	1	[h]
小时数	4	1	1	8	5	1	[h]
装机容量	334	1,406	1,082	283	188	1,351	[MW]
Load shed price	3,814	3,814	3,814	3,814	3,814	3,814	[CNY]
甩负荷应用数量	0	0	0	0	0	0	[#]
Inputs CHN							
Sector	Groundwood & TMP refiner	Paper recycling & Pulp preparation	Aluminium electrolysis	Cement mill	Raw mill	Chlor-alkali electrolysis	单位
Shift Duration	5	2	2	12	7	2	[h]
Applied number of Shifts p.a.	730	50	91	365	365	100	[#]
Feasibility factor [%]	50	50	100	100	100	50	[%]
Loadfactor max.	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	[%]
Loadfactor avg.	0.58	0.68	0.78	0.52	0.62	0.70	[%]
Loadfactor min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	[%]
负荷转移增量	1.10	0.27	0.22	2.88	1.50	0.20	[德尔塔]
小时数	2	1	1	6	3	1	[h]
小时数	3	1	1	6	4	1	[h]
装机容量	1,886	7,941	89,312	25,847	17,152	14,287	[MW]
Load shed price	3,814	3,814	3,814	3,814	3,814	3,814	[CNY]
甩负荷应用数量	0	0	0	0	0	0	[#]

模拟工具默认情况下的能源效率设置

图 23：能源效率设置——默认情景

达到目标年度的效率增益			
部门	德国 2030	中国2035	单位
造纸	6	1	[%]
铝	0	1	[%]
水泥	0	1	[%]
氯	3	1	[%]

效率评估前的用电需求			
部门	德国 2030	中国2035	单位
造纸	17,925	81,000	格韦尔
铝（初级）	7,556	498,960	格韦尔
水泥	3,938	287,410	格韦尔
氯	13,520	114,400	格韦尔

终端电价市场价格份额			
国家	GER 2030	CHINA 2035	单位
	20	40	[%]

生产量			
部门	GER 2030	CHINA 2035	单位
造纸	23.9	108.0	Mt
铝（初级）	0.5	35.0	Mt
水泥	34.1	2489.0	Mt
氯	5.2	44.0	Mt

电力需求侧管理与能源效率的相互关系			
过程	GER 2030	CHINA 2035	单位
氯木浆和TMP氯浆机	0.0	0.0	[%]
造纸回收与纸浆制备	0.0	0.0	[%]
铝电解	0.0	0.0	[%]
水泥磨	0.0	0.0	[%]
生料磨	0.0	0.0	[%]
氯碱电解	0.0	0.0	[%]

Website



Wechat

